

Handläggare
Mathias Lööf
Telefon
076-409 27 74
E-post
Mathias.loof@projektstaben.se

Mottagare
Stockholm Stad
Matilda Lewis

Uppdragsansvarig
Mathias Lööf
Telefon
076-409 27 74
E-post
Mathias.loof@projektstaben.se

Projekt-ID
0021
Status
Leveranshandling

Riskutredning avseende människors hälsa och säkerhet

Detaljplan Hornsbergskvarteren

Datum	Version	Egenkontroll	Internkontroll	Revidering avser
2019-01-18	1.0	MLF	JAT	-

Sammanfattning

Detaljplan för Hornsbergskvarteren utgör en del inom program NVK som antogs år 2002. I linje med programmet syftar detaljplaneförslaget att omvandla del på Kungsholmen till en tätare och en med övriga staden bättre integrerad stadsdel, där det finns ett blandat innehåll och ett aktivt stads- och parkliv.

Föreliggande riskutredning innebär en fördjupning av risker som kan medföra negativ påverkan på människor som befinner sig inom och i närhet till detaljplaneområdet. Utredningen tar utgångspunkt i tidigare utfört riskhanteringsarbetet, vari fokus ligger på att ge klarhet i detaljplanens påverkan på samhällsrisknivån längs med Essingeleden. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa.

Planområdet är lokaliserat till en, ur risksynpunkt, utsatt plats med hänsyn till att planerad bebyggelse ligger i nära anslutning till Essingeleden som är klassad som en primär transportled för farligt gods. Transporter av farligt gods till lokala målpunkter på Kungsholmen förekommer även på Kellgrensgatan som utgör av- och påfartsväg till Essingeleden samt på Lindhagensgatan och Nordenflychtsvägen som går igenom planområdet.

Vad gäller transportriskerna på Lindhagensgatan och Nordenflychtsvägen samt Kellgrensgatan så innebär de trafikala förutsättningarna (låg hastighet och låg risk för våldsamma kollisioner) samt det relativt lilla totala transportarbetet att riskerna förknippade med farligt godsolyckor är ringa. Detta åskådliggörs av redogjorda individriskprofiler som tydliggör att acceptabla risknivåer kan förväntas i den direkta närheten av transportlederna. Transportriskerna på Essingeleden har åskådliggjorts ha en betydande påverkan på risksituationen i omgivningen.

I ett led att säkerställa att planerad markanvändning inte ger upphov till en oacceptabel samhällsrisknivå (säkerställa en acceptabel risk för katastrofer vid händelse av olycka på Essingeleden i höjd med planområdet) har ett antal skyddsprinciper arbetas fram. Skyddsprinciperna innebär att tillkommande bebyggelse utformas med ett tillfredställande skydd mot de för samhällsrisknivåerna riskstyrande olyckshändelserna. Resultaten från utförda samhällsriskberäkningar påvisar att skyddsprinciperna säkerställer att samhällsrisknivån i studerat området längs med Essingeleden ej blir oacceptabla.

Slutsatsen är att tänkt exploatering kan utföras enligt föreslagen struktur under förutsättning att skyddsprinciperna som förelegat utförda samhällsriskberäkningar införlivas som skyddsbestämmelser i plankartan/planbeskrivningen.

Följande förslag på skyddsåtgärder bedöms nödvändiga för att säkerställa godtagbara risknivåer planområdet:

- P-hus under Essingeleden ska utformas på sådant sätt att ett fortskridande ras av översta bjälklaget ej tillåts uppstå vid explosion motsvarande karakteristiska tryck och impulstätheter i figur 15¹.
- Byggnader ska placeras minst 25 m från Essingeledens huvudkörbanors väggkant och minst 15 meter från av-/påfartsramperna.
- Området utomhus mellan byggnader och Essingeleden och tillhörande av-/påfartsramp ska utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse.

Byggnader som planeras närmast Essingeleden, kv.6, kv.7 samt kv. 8 ska utformas med följande byggnadstekniska åtgärder:

- Fasader mot Essingeleden, av-/påfartsramp samt Lindhagensgatan ska utföras i obrännbart material.
- Huvudentréer ska planeras mot trygg sida, d.v.s. sida som ej vetter mot Essingeleden. Alternativa utrymningsvägar får planeras mot Essingeleden.
- Byggnaders fasader som vetter mot Essingeleden ska utformas "tät²" för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter åskådliggjorda i figur 14.
- Idrottshallens globala stabiliserande stomme ska utformas för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter åskådliggjorda i tabell 14.
- Kontorshusen globala stabiliserande stomme ska utgöras av platsgjuten betong och/eller av prefabricerade betongelement med armeringen av klass C.
- Glaspartier i fasad som vetter mot Essingeleden inom 40 meter ska utformas för att klara en temperatur om 300 °C under minst 10 minuters tid.
- Byggnader ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från Essingeleden. Anordning för central nödavsängning av ventilationssystemet rekommendera att uppföras inom byggnad, t.ex. placeras knapp i bemannad reception.

I ett led att säkerställa en "tät" fasad innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad mot Essingeleden behöver utformas explosionsresistent, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd sett till redogjorda karakteristiska tryck och impulstätheter.

I ett led att säkerställa att glaspartier klara en temperatur om 300 °C under minst 10 minuters tid rekommenderas en yttre glasruta i härdat glas om minst 6 mm tjocklek med verifierande egenskaper.

Byggnader som planeras bakom första radens bebyggelse ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från Essingeleden. Eventuella springventiler i fasad mot Essingeleden accepteras.

¹ Vid bedömning av lastfall ska avstånd till P-huset utgå från vägbans kant, dvs. avstånd till bjälklagsplatta rakt under Essingeleden ska inte mätas genom brobaneplattan.

² Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder.

Mot bakgrund av att en pölbrand på Lindhagensgatan kan ge upphov till allvarliga konsekvenser i omgivningen bör säkerhetshöjande åtgärder vidtas så långt som rimligt möjligt. Med anledning av detta ges nedan förslag på säkerhetshöjande åtgärder för ny bebyggelse inom studerat område som bedöms motiverade utifrån ett kostnad-/nyttoperspektiv.

Observera att åtgärder utmed Nordenflychtsvägen gäller från Lindhagensgatan fram till in-/utfart till Octapharma. För kv. 1 gäller således enbart åtgärder inom angivna avstånd från infarten till Octapharma.

- Områden utomhus mellan Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen och planerad bebyggelse ska inte utföras så att de uppmuntrar till omfattande stadigvarande vistelse.

Som omfattande stadigvarande vistelse räknas exempelvis större torgtor, lekplatser, förskolegård etc.

- Fasader som vetter mot Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen utförs i obrännbart material.
- Svårutrymda verksamheter som planeras med yttervägg mot Lindhagensgatan eller Nordenflychtsvägen utförs med glaspartier i fasad motsvarande lägst brandteknisk klass EI 30.

Som svårutrymd verksamhet räknas bland annat förskola och äldreboende.

- Byggnader som inrymmer verksamheter som är klassade som svårutrymda eller omfattar sovande personer och ligger utmed Lindhagensgatan eller Nordenflychtsvägen utförs så att det finns möjlighet att utrymma mot en trygg sida, dvs. bort från vägen.

Ovanstående åtgärdsförslag kan behöva omformuleras så att de följer de regler som gäller för utformning av planbestämmelser enligt Plan- och Bygglagen (2010:900). Observera att ovanstående åtgärder endast utgör förslag och att det är upp till kommunen/projektet att ta beslut om åtgärderna ska implementeras.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	6
1.1	Bakgrund och syfte	6
1.2	Underlag	8
1.3	Omfattning och avgränsningar	8
1.4	Definition riskbedömning	8
1.5	Riskhänsyn vid bebyggelse intill farligt godsled och farlig verksamhet	9
1.6	Värdering av risk	11
2.	Förutsättningar	17
2.1	Områdesbeskrivning	17
2.2	Octapharma	19
2.3	Transporter av farligt gods på av-/påfartsramper till Essingeleden (Kellgrensgatan) samt Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen	20
2.4	Transporter av farligt gods på Essingeleden	21
3.	Risikanalyt	24
3.1	Allmänt om farligt gods	24
3.2	Hantering av farligt gods inom Octapharma	26
3.3	Transporter av farligt gods på Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen fram till infart till Octapharma	26
3.4	Transporter av farligt gods på av-/påfartsramper till Essingeleden (Kellgrensgatan)	28
3.5	Farligt godstransporter på Essingeleden	29
3.6	Samhällsrisk med hänsyn till föreslagna skyddsprinciper	35
4.	Känslighetsanalys	43
5.	Diskussion och slutsatser	47
	Referenser	49
	Bilaga A - Frekvensberäkningar	51
	Bilaga B – Konsekvensberäkningar	59
	Bilaga C – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp	72
	Bilaga D – Fördjupad känslighetsanalys	106

1. Inledning

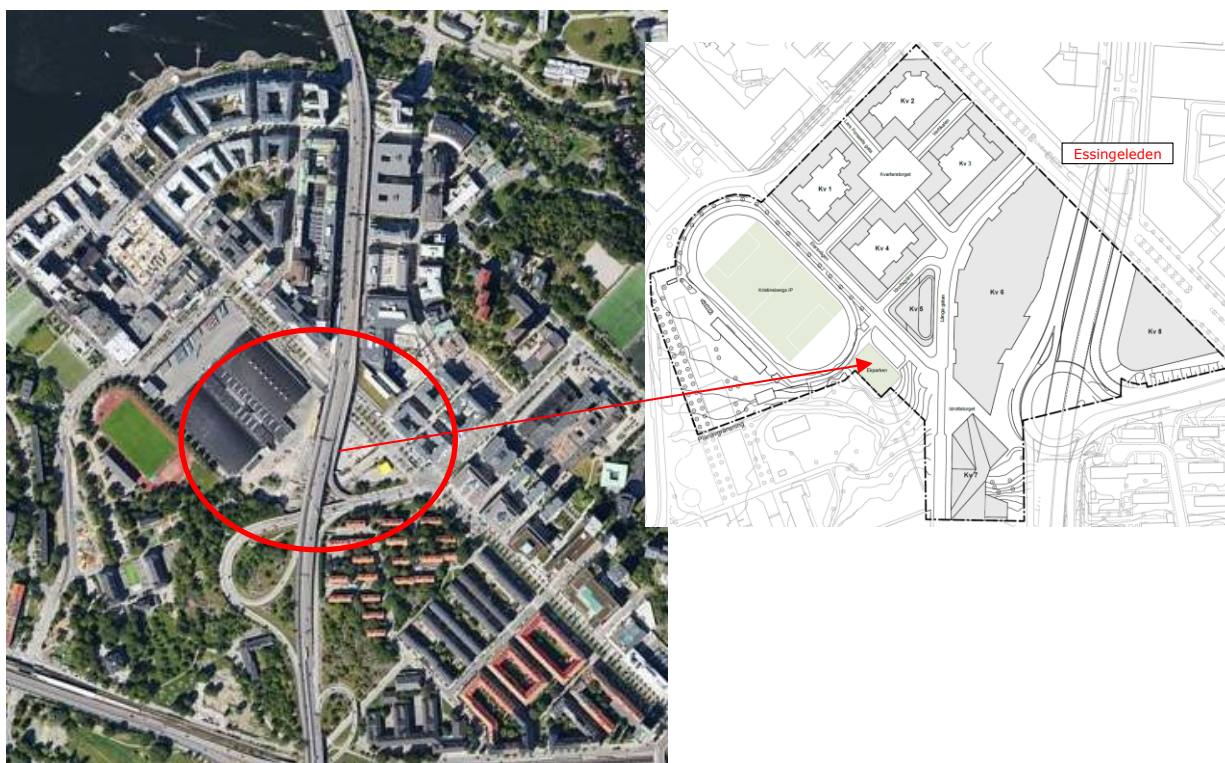
1.1 Bakgrund och syfte

Planering och utbyggnad av området, Nordvästra Kungsholmen (NVK), längs med Essingeleden har skett sedan 2002 då ett planprogram antogs för området. Omfattningen av planprogrammet åskådliggörs i figur 1.



Figur 1. Planprogrammets läge på Kungsholmen.

Detaljplan för Hornsbergskvarteren utgör en del inom program NVK som antogs år 2002. I linje med programmet syftar detaljplaneförslaget att omvandla del på Kungsholmen till en tätare och en med övriga staden bättre integrerad stadsdel, där det finns ett blandat innehåll och ett aktivt stads- och parkliv. Ungefärlig placering av planområdet på Kungsholmen samt planstruktur åskådliggörs i figur 2.



Figur 2. Ungefärlig placering av planområdet på Kungsholmen markerat med rödcirkel samt planstruktur till vänster.

Planområdet är lokaliserat till en, ur risksynpunkt, utsatt plats med hänsyn till att planerad bebyggelse ligger i nära anslutning till Essingeleden som är klassad som en primär transportled för farligt gods. Transporter av farligt gods till lokala målpunkter på Kungsholmen förekommer även på Kellgrensgatan som utgör av- och påfartsväg till Essingeleden samt på Lindhagensgatan och Nordenflychtsvägen som går igenom planområdet.

Länsstyrelsen i Stockholms län har i ett flertal av de pågående detaljplanerna inom programområdet påtalat³ att de befarar att tillkommande exploatering kan vara problematiskt att genomföra med hänsyn till att tillkommande bebyggelse planeras i ett område där samhällsriskerna redan kan antas vara höga.

För att studera samhällsrisknivån längs med Essingeleden på Kungsholmen utifrån ett övergripande perspektiv och hur denna kan reduceras genom olika skyddsåtgärder har Stadsbyggnadskontoret med hjälp av Structor riskbyrå AB gjort en känslighetsanalys av ett antal identifierade parametrar som påverkar samhällsrisknivån. Resultatet från utförd känslighetsanalys påvisar att det primärt är riskbidraget från olyckor involverande brandfarlig vätska samt riskbidraget från olyckor involverande brandfarlig gas som kan förutsättas vara styrande för samhällsriskbilden. Känslighetsanalysen visar vidare att beräkningar av samhällsrisk i ett tätbebyggt område är mycket komplicerade och innehåller betydande osäkerheter då de involverar en lång rad parametrar med mer eller mindre grova antaganden. Analysen visar att trafikreglerande åtgärder ger störst effekt på risknivån, men även att osäkerheter kopplade till effekten av skyddsåtgärder och val av metodik vid frekvens- och konsekvensberäkningar har betydande påverkan på resultatet.

Föreliggande riskutredning innebär en fördjupning av risker som kan medföra negativ påverkan på människor som befinner sig inom och i närhet till detaljplaneområdet. Utredningen tar utgångspunkt i tidigare utförd riskhanteringsarbetet, vari fokus ligger på att ge klarhet i detaljplanens påverkan på samhällsrisknivån längs med Essingeleden. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Föreliggande riskutredning innebär en fördjupning av risker som kan medföra negativ påverkan på människor som befinner sig inom och i närhet till detaljplaneområdet. Rapportens övergripande syfte är att uppfylla de krav på riskhantering som ställs i Plan- och bygglagen. Riskbedömningen ska därmed ses som en rekommendation utifrån rådande lagstiftning och riktlinjer och verka som ett beslutsunderlag inför beslutsfattande om markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa.

³ Detta exemplifieras i Länsstyrelsens yttrande för detaljplan för del av fastigheten Kristineberg 1:10 i Kristineberg m.fl. samt detaljplan för fastigheten Kristinebergs slott 11 m.m.

1.2 Underlag

Flera riskbedömningar har utförts för att tydliggöra riskexponeringen från Essingeleden:

- "Översiktlig riskanalys för nyexploatering på nordvästra Kungsholmen i Stockholm", Tyréns, 2001 [1].
- "Detaljerad riskanalys kv Kristinebergs slott 11 m.m", Brandskyddslaget, 2013 [2].
- "Detaljerad riskanalys kv Kristineberg 1:10", Brandskyddslaget, 2015 [3].
- "Riskhantering med fokus på samhällsrisk inom programområdet Nordvästra Kungsholmen", Stockholm Stad, Structor, 2014 [4]
- "PM – Strategier för hantering av samhällsrisk i samband med exploatering längs med Essingeleden inom nordvästra Kungsholmen", RiskTec Projektledning AB [5]

För att erhålla en transparent riskhanteringsprocess tar föreliggande riskutredning utgångspunkt i resultaten från de utförda riskanalyserna.

1.3 Omfattning och avgränsningar

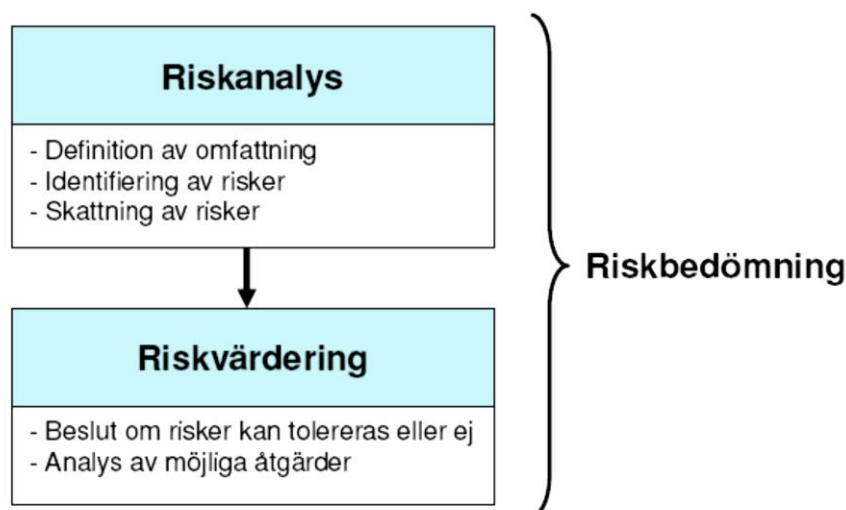
Bedömningen omfattar endast plötsliga och oväntade händelser med akuta konsekvenser för liv och hälsa för människor som vistas inom det studerade området. Analysen beaktar inte långvariga effekter av hälsofarliga ämnen, buller eller miljöfarliga utsläpp från exempelvis förorenad mark.

Riskutredningen avgränsar sig vidare till att analysera detaljplanens påverkan på den övergripande samhällsrisknivån på Kungsholmen. Någon totalbedömning avseende samhällsrisknivån på Kungsholmen omfattas således ej av denna riskutredning. Motiv till denna avgränsning utvecklas under *kommentarer* i avsnitt 1.6.

1.4 Definition riskbedömning

I denna riskbedömning används begreppet risk som produkten av sannolikhet att en negativ händelse ska inträffa och händelsens negativa konsekvenser.

Ett vedertaget sätt att beakta riskbedömning är att utgå från den standard som International Electrotechnical Commission (IEC) tagit fram. Utifrån IEC:s synsätt omfattar riskbedömning två delmoment; riskanalys och riskvärdering i enlighet med figur 3.



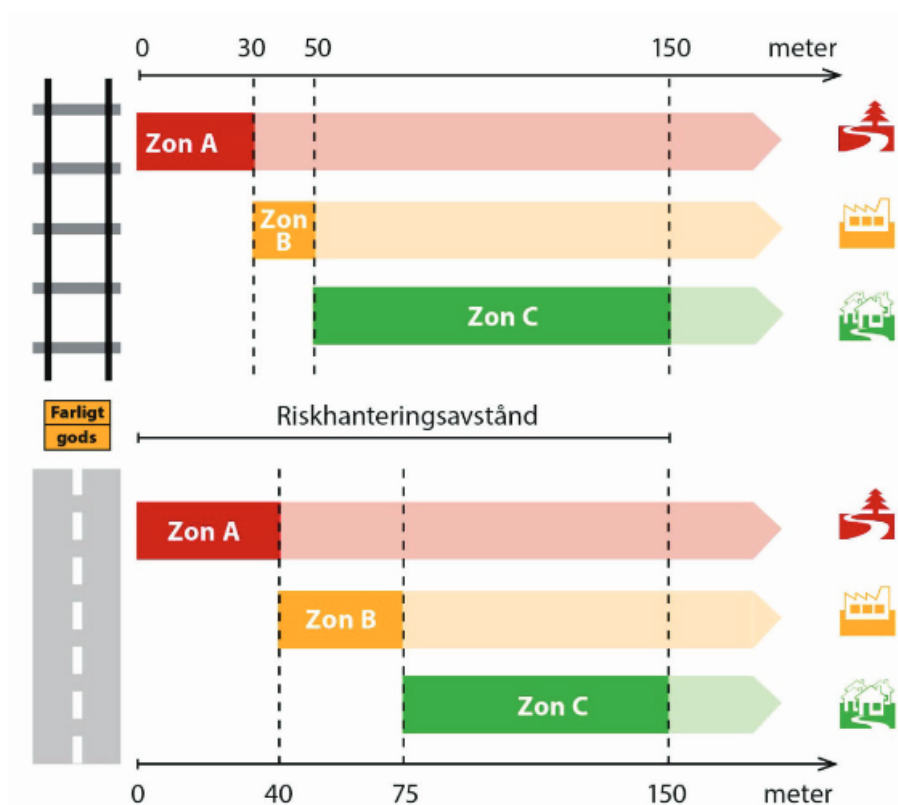
Figur 3. Definition av riskbedömning enligt IEC.

En riskanalys syftar till att identifiera risker/skadehändelser utifrån tillgänglig information. För att kunna göra en skattning av riskerna krävs bedömning av riskernas sannolikhet och konsekvens.

Riskvärderingen baseras på resultatet av riskanalysen och beräknar storleken på respektive risk samt om sammanvägningen av samtliga risker är acceptabel/tolerabel eller ej. Värderingen utgör underlag för hur de analyserade riskerna kan hanteras.

1.5 Riskhänsyn vid bebyggelse intill farligt godsled och farlig verksamhet

Sammanhållen bebyggelse ska utformas med hänsyn till behovet av skydd mot uppkomst av olika olyckor. Länsstyrelserna i Skåne-, Västra Götalands- och Stockholms län har arbetat fram en policy [6] för riskhantering i detaljplaneprocessen med riktlinjer för markanvändning intill transportleder för farligt gods. Riskpolicyn innebär att riskhanteringsprocessen beaktas i framtagandet av detaljplaner inom 150 meters avstånd från en farligt godsled. Vidare har Länsstyrelsen i Stockholms län tagit fram ett faktablad [7] som innehåller riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods. I faktabladet tydliggör Länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd mellan transportled för farligt gods och olika verksamheter enligt figur 4.



Rekommenderad markanvändning inom respektive zon

Zon A	Zon B	Zon C
G – drivmedelsförsörjning (obemannad)	E – tekniska anläggningar	B – bostäder
L – odling och djurhållning	G – drivmedelsförsörjning (bemannad)	C – centrum
P – parkering (ytparkering)	J – industri	D – vård
T – trafik	K – kontor	H – detaljhandel
	N – friluftsliv och camping	O – tillfällig vistelse
	P – parkering (övrig parkering)	R – besöksanläggningar
	Z – verksamheter	S – skola

Figur 4. Länsstyrelsens rekommendationer avseende skyddsavstånd till led för farligt gods från respektive kvartersmark [6].

För primära farligt godsleder såsom Essingeleden anser Länsstyrelsen att det ska finnas ett bebyggelsefritt avstånd om minst 25 meter och särskilda skyddsåtgärder oavsett vad riskutredningen kommer fram till. Länsstyrelsen bedömer att de skyddsavstånd och skyddsåtgärder som förtydligas utgör ett minimum för att uppfylla kraven i PBL. För sekundära leder tydliggör Länsstyrelsen att det är svårt att göra en allmängiltig vägledning eftersom riskbilden kan variera väldigt mycket mellan olika leder. Länsstyrelsen anser dock att det, för de flesta sekundära leder, behöver finnas ett bebyggelsefritt skyddsavstånd om minst 25 meter och att det inte är sannolikt att ett skyddsavstånd på mindre än 15-20 meter kan anses tillräckligt för att uppfylla kraven i PBL.

Förutom ovanstående riktlinjer förekommer ytterligare ett antal föreskrifter avseende risk och säkerhet som kan vara relevanta i planändan. Dessa berör i första hand hantering och rutiner för olika typer av riskkällor som kan vara värda att beakta. Exempelvis så ger Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) ut föreskrifter för hantering av olika brandfarliga och explosiva ämnen.

1.6 Värdering av risk

Det saknas nationella kriterier för riskvärdering för tredje man. Generellt vid bedömning av huruvida en risk kan accepteras eller ej bör hänsyn tas till vissa faktorer. Exempelvis bör riskkällans nytta vägas in, liksom vilken som är den exponerade gruppen samt huruvida risk för katastrofer föreligger. De principer som vanligen anges är [8]:

- Principen om undvikande av katastrofer. risker bör hellre realiseras i olyckor med begränsade konsekvenser än i katastrofer.
- Fördelningsprincipen. Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de fördelar som verksamheten medför.
- Rimlighetsprincipen. En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas.
- Proportionalitetsprincipen. De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar (intäkter, produkter och tjänster, etc.) som verksamheten medför.

Dessa principer indikerar att hänsyn bör tas till kostnader för säkerhetshöjande åtgärder, att en riskkällas nytta skall vägas in samt att olika värderingar kan göras beroende på om den exponerade gruppen har en personlig nytta av riskkällan eller ej. Vidare skall risker ej accepteras om de på ett enkelt tekniskt och icke kostsamt sätt kan undvikas.

Vidare har DNV på uppdrag av Räddningsverket (nu MSB) tagit fram förslag på kvantitativa riskmått gällande individ- och samhällsrisk [9]. Dessa kriterier används generellt vid planläggning intill primära transportleder för farligt gods och andra typer av farliga anläggningar där riskkällan kan vara ett permanent hot för tredje man.

Individrisken uttrycks som sannolikheten att en person, som står på en given plats, ska omkomma under ett år. Individrisken tar ingen hänsyn till hur många personer som kan påverkas av en skadehändelse.

Vid beräkning av samhällsrisk beaktas även hur stora konsekvenserna kan bli för en skadehändelse, detta med avseende på antalet personer som kan påverkas vid olycka. Vid bedömning av samhällsrisk tas hänsyn till hur persontätheten varierar under dygnet och hur stor andel personer som förväntas befinna sig inomhus respektive utomhus. Exempelvis kan persontätheten kring en skola förväntas vara hög under dagen och nästintill obefintlig under natten. Samhällsrisk redovisas ofta med en så kallad FN-kurva, vilken visar sambandet mellan den ackumulerade frekvensen, F, för samtliga olyckor och antal omkomna, N, på grund av dessa olyckor. Kurvan åskådliggör den förväntade frekvensen för ett visst antal döda av olycka involverande farligt gods.

Risken kan värderas som acceptabel, tolerabel eller oacceptabel:

- Om risken är oacceptabel måste åtgärder vidtas
- Om risken är tolerabel (det s.k. ALARP-området, As Low As Reasonably Practicable) ska åtgärder värderas och vidtas om kostnaden är rimlig. Högre kostnader kan accepteras för risker nära det oacceptabla området, än för risker nära det acceptabla.
- Om risken är acceptabel behöver inte åtgärder vidtas men de bör ändå undersökas. Åtgärder som medför små kostnader bör ändå vidtas.

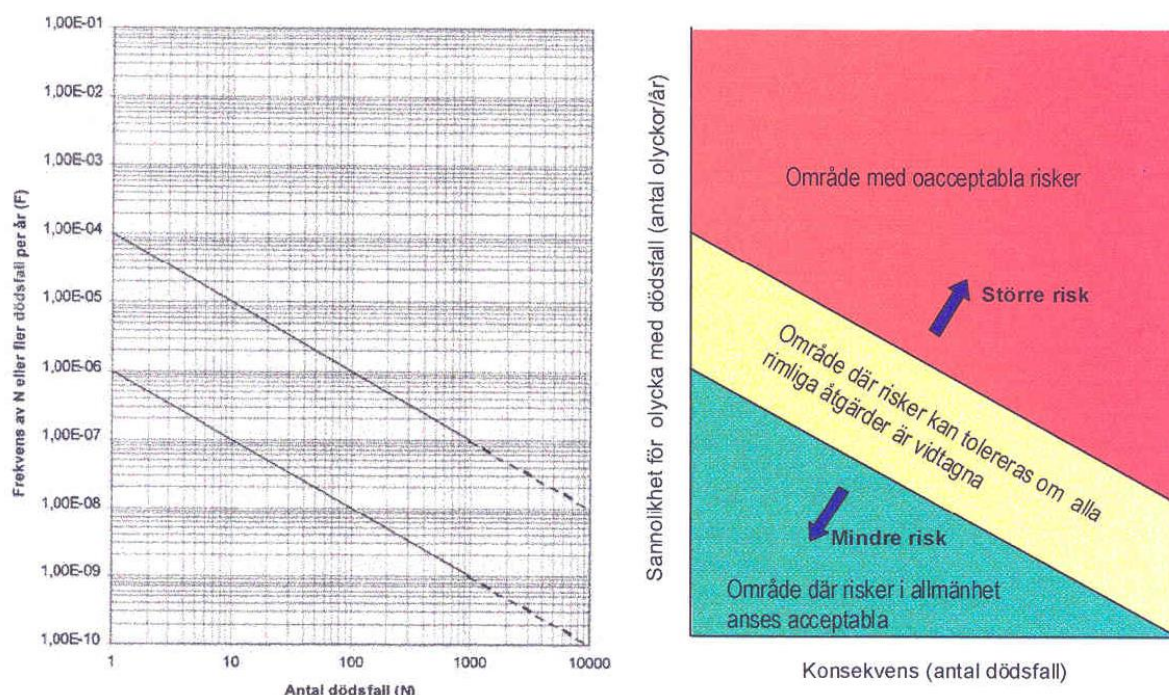
För individrisk föreslås i rapporten från Räddningsverket [9] följande kriterier:

- Övre gräns för ALARP-området: 10^{-5} per år
- Undre gräns ALARP-området: 10^{-7} per år

För samhällsrisk föreslås i rapporten från Räddningsverket [9] följande kriterier:

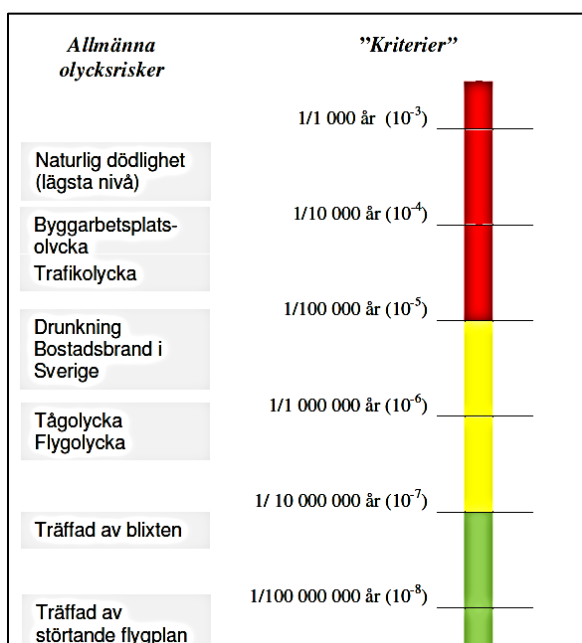
- Övre gräns för ALARP-området: 10^{-4} per år för N=1, med lutning på FN-kurva: -1
- Undre gräns för ALARP-området: 10^{-6} per år för N=1, med lutning på FN-kurva: -1

I figur 5 förtydligas appliceringen av DNV:s förslag på kriterier för samhällsrisk.



Figur 5. Räddningsverket via DNV – Förslag på kriterier för samhällsrisk [9].

För att få en bättre uppfattning om vad ovanstående risknivåer innebär presenteras några exempel på olika risknivåer i intervallet i Figur 6.



Figur 6. Exempel på olika risknivåers innebörd. Med naturlig dödlighet menas den genomsnittliga naturliga dödsfallsrisken. Den varierar med ålder och kön, med lägst risk vid 7-8 års ålder då den naturliga dödsfallsrisken är cirka 1 på 10 000 per år.

I samband med samhällsplanering är det vidare viktigt att beakta kopplingen mellan risktagande och den samhällsnyttan som erhålls av risktagandet [8 & 9].

Kommentarer

Det saknas tydliga riktlinjer för applicering av kriterier för samhällsrisk vid förtätningsprojekt likt Hornsbergskvarteren. Som utgångspunkt föreslår DNV att ovanstående kriterier ska baseras på att en sträcka om 1 km vid analys av risknivåer längs med farligt godsleder. De huvudsakliga argumenten för kriteriet är:

- Enkelhet. Ett och samma kriterium för både industriella anläggningar och transportleder innebär enklast möjliga utformning.
- Sträckan av 1 km är den som närmast kan anses motsvara realistisk olycksutbredning från en industriell anläggning (även om betydligt längre avstånd är möjliga). Sträckan av 1 km är ofta realistisk ur analysynpunkt.
- Kriteriet ansluter relativt väl till det kriterium för transportrisker som föreslagits i Holland.

DNV tydliggör även att ett viktigt argument mot förslaget på samhällsrisk är att det kan innebära ett alltför strängt kriterium, åtminstone för mindre olyckor samt för existerande bebyggelse och att detta troligen innebär att en mindre sträng tillämpning av kriteriet vid bedömning av acceptabel risknivå visar sig nödvändig.

I rapport *Risikanalyser i detaljplaneprocessen - vem, vad, när & hur?* [10] utgiven av Länsstyrelsen i Stockholms län 2003 tydliggörs att det finns osäkerheter i hur kriterierna för samhällsrisk ska användas vid en blandning av ny och befintlig bebyggelse. Eftersom kriteriet vid transport av farligt gods avser en sträcka av 1 kilometer kommer vid beräkningarna en större eller mindre del av den totala risknivån att utgöras av personer knutna till den befintliga bebyggelsen.

Eftersom det inte går att basera en samhällsriskvärdering endast på den nya bebyggelsen får i dessa fall ställning tas till huruvida kriteriet ska gälla hela området eller om endast individriskkriterier för den nya bebyggelsen bör användas. Det första alternativet innebär att både befintlig och ny bebyggelse beaktas, om riskkriteriet redan är "fyllt" godtas således inga nya risktillägg.

Det andra alternativet innebär att individrisken för personer i den nya bebyggelsen kan kontrolleras, dock kan inte samhällsriskens kontrolleras fullt ut. Det tydliggörs att alternativet som känns mest rimligt och realistiskt är att individriskkriteriet används (d.v.s. det andra alternativet). Detta eftersom användandet av samhällsriskkriterier i dessa fall skulle kunna få orimliga följder, t.ex. skulle nya och bra placerade byggnader ej kunna uppföras på grund av tidigare sämre placerad bebyggelse.

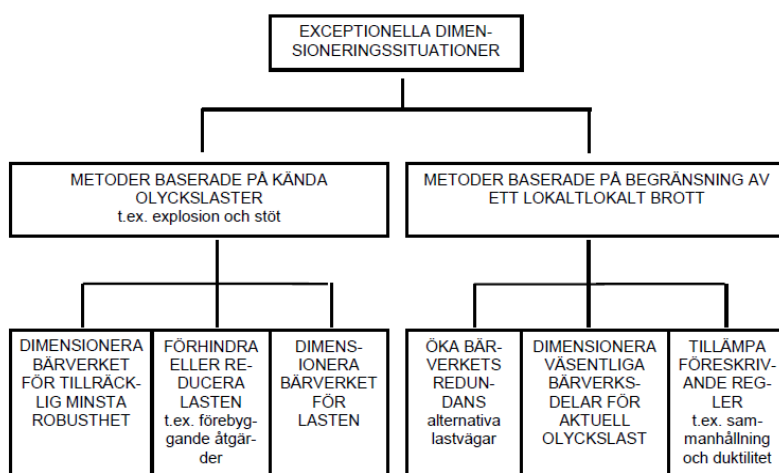
I det nyligen utgivna faktabladet [7] innehållande riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods tydliggör Länsstyrelsen att i områden med hög exploateringsgrad eller personintensiva verksamheter är det extra viktigt att ta hänsyn till samhällsriskerna då det visar hur många personer som kan antas omkomma vid olika tänkbara olycksscenarioer. Vid beräkning av samhällsriskerna anser Länsstyrelsen att sannolikheten för en olycka ska beräknas för en väg- respektive järnvägssträcka på en kilometer. Vid bedömning av olyckskonsekvenser ska även omkringliggande bebyggelse tas med i beräkningarna tillsammans med planområdet. Syftet med detta är att undersöka den aktuella riskbilden i sin helhet och inte enbart den förändring av samhällsriskerna som en enskild detaljplan medför. Inte bara befintlig bebyggelse utan även pågående och framtida projekt bör beaktas vid bedömningen.

Det framgår tydligt att Länsstyrelsens betraktelse av hur en acceptabel risknivå säkerställs har förändrats sedan programmet för Nordvästra Kungsholmen antogs 2002. I dagsläget återfinns ett allt tydligare fokus på att den övergripande samhällsrisknivån för ett större område behöver beaktas för att bedömning om markanvändningen i den enskilda detaljplanen ska kunna anses lämpad med avseende på människors säkerhet och hälsa. Förklaringen till detta är enligt Länsstyrelsen⁴ att de önskar tydlighet i hur principen om undvikande av katastrofer uppfylls vid förtätning av redan utsatta områden.

Det enskilda projektet kan givetvis inte påverka risksituationen inom den befintliga täta bebyggelsen längs med Essingeleden, som är uppförd under en tid då skyddsföreskrifter medgav en placering mycket nära transportleden utan att särskilda byggnadstekniska skyddsåtgärder behövde beaktas. Det anses därmed inte vara relevant att i detalj utreda och redovisa för den totala samhällsrisknivån på Kungsholmen, med hänsyn till den befintliga bebyggelsen. Staden anser att det som kan säkerställas inom respektive detaljplaneområde längs med Essingeleden är att tillkommande bebyggelse och markanvändning utförs på sådant sätt att exploateringen inte föranleder en oacceptabel riskförändring, sett utifrån ett övergripande perspektiv med fokus på att säkerställa en acceptabel exponering för katastrofer. Med anledning av detta avgränsar sig utredningen att beakta olycksplaceringar på Essingeleden som kan innebära påverkan på människor inom studerat planområdet om inga säkerhetshöjande åtgärder vidtas. Staden anser att ett sådant förhållningssätt ligger i linje med uppfyllnad av Plan- och bygglagen (PBL), som tydliggör att planläggning ska ske på sådant sätt att bebyggelse och byggnadsverk lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet.

1.6.1 Detaljplanens möjliggörande av uppfyllnad av tekniska egenskapskrav enligt PBL och PBF.

Den mest tydliga och juridiskt bindande vägledningen för hantering av olycksrisker ges i Eurokod – Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk (SS-EN 1990) samt Eurokod 1 – Laster på bärverk – del 1-7: Allmänna laster – Olyckslast (SS-EN 1991-1-7) där planläggning intill en farligt godsled innebär att farligt godsolyckor och andra olyckshändelser såsom avåkning, som kan innebära konsekvenser på byggnadens bärighet är att betrakta som kända olyckslaster, i enlighet med figur 7.



Figur 7. Metod för hantering av exceptionella dimensioneringssituationer enligt vägledning i SS-EN 1990-1-7 vilken är införlivad i de svenska byggnormerna genom EKS 10.

Förenklat kan sägas att vägledning enligt Eurokoderna anger minimikraven för vilka medlemsländerna har förbundit sig att efterleva, vilka finns införlivade i aktuell version av EKS (BFS 2015:6). Nedan återges de grundläggande dimensioneringsreglerna.

⁴ Utifrån diskussioner på genomförda avstämningsmöten inom ramen för upprättad riskhanteringsprocess.

SS-EN 1990

I SS-EN 1990 anges brottsannolikheter för bärande konstruktionsdelar utifrån konsekvenserna av risken för kollaps. För bostäder som inryms i klass CC2 anges att den årliga brottsannolikhet av bärverk som risker att ge upphov till ett fortskridande ras ska visas vara mindre än 10^{-6} . För klass CC3 där ännu mer känsliga byggnadstyper (t.ex. större sjukhus) hamnar ska den årliga brottsannolikheten vara mindre än 10^{-7} , se förklarande tabeller åskådliggjorda i figur 8 nedan. Det bör noteras att brottsannolikheterna avser en helhetsbedömning av samtliga möjliga händelser som kan föranleda brott på bärverksdelar, olycksrisker förknippade med farligt godsolyckor utgör således en bidragande faktor. Som grundläggande krav tydliggörs att ett bärverk ska dimensioneras och utföras på ett sådant sätt att det inte skadas av händelser såsom:

- explosion,
 - påkörning och
 - konsekvenser av mänskliga misstag
- i en omfattning som står i rimlig proportion till den ursprungliga orsaken.

Tabell B.2 – Rekommenderade minimivärden för säkerhetsindexet β (brottgränstillstånd)

Säkerhetsklass	Minimivärden för β	
	referensperiod 1 år	referensperiod 50 år
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Tabell C.1 – Samband mellan β och P_f

P_f	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
β	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Figur 8. Förklarande tabeller hämtade från SS-EN 1990.

Mer detaljerad vägledning avseende beaktande och hantering av olyckslaster ges i SS-EN 1991-1-7.

SS-EN 1991-1-7

Vilka olyckslaster som bör beaktas beror av:

- Vilka åtgärder som vidtagits för att förhindra eller reducera allvarligheten av en olyckslast
- Sannolikheten för att en känd olyckslast ska uppträda
- Konsekvenserna av ett brott på grund av den kända olyckslasten
- Allmänhetens uppfattning
- Acceptabel risknivå

För bedömning av acceptabel risk ges vägledning avseende tillämpbara riskacceptanskriterier, dessa ska normalt utgå från:

- den individuellt acceptabla risknivån: individuella risker uttrycks ofta som andelen olyckor med dödlig utgång. De kan uttryckas som en årlig sannolikhet för dödsfall eller som sannolikheten per tidsenhet för ett enskilt dödsfall under utövande av en viss aktivitet.
- den socialt acceptabla risknivån: den socialt acceptabla risken för dödsfall, som kan variera över tiden, redovisas ofta som en F-N-kurva som indikerar en maximal årlig sannolikhet F för en olycka med fler än N skadefall.

Vidare har ett nationellt val avseende acceptabel risknivå för extrema olyckslaster har gjort i EKS 10:

Stycke 3.2(1) Anm. 3

2 § Risknivån får inte vara högre än vad som svarar mot säkerhetsindex $\beta = 3,1$ för olyckslaster och $\beta = 2,3$ för fortskridande ras för referenstiden 1 år.

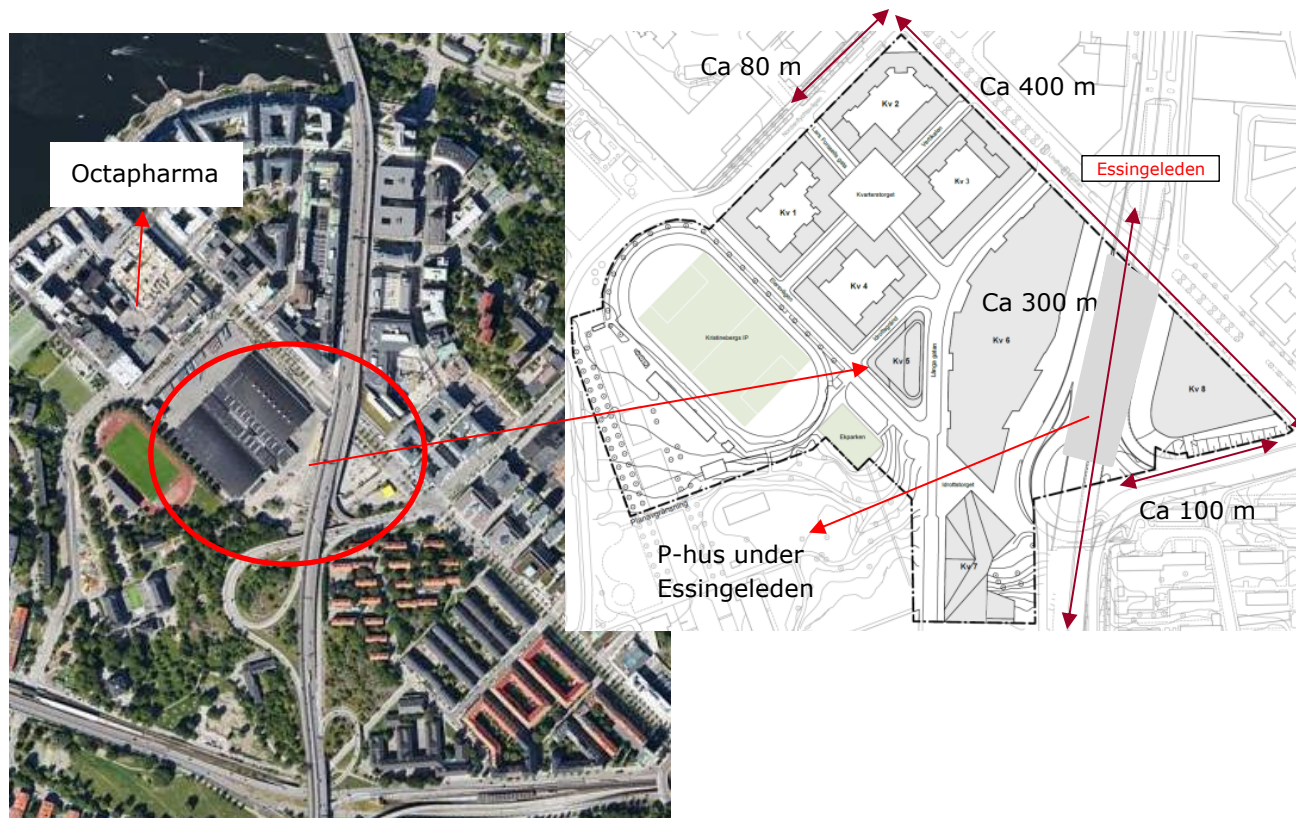
Kommentarer

Konsekvenserna av explosionsförlopp som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på närliggande transportled innebär ett hot mot närliggande byggnaders integritet och kan i värsta fall innebära ett fortskridande ras och kollaps av byggnad, med ett stort antal förväntade omkomna inom byggnaden. Vid planläggning intill farligt godsleder där explosionsrisk bedöms föreligga kan således grundkravet tolkas som att detaljplanen ska skapa förutsättningar/säkerställa att planerade byggnader kan uppföras i enlighet med Eurokoderna och EKS, där angivna krav bör betraktas som minimumnivån för uppfyllnad av PBL i avseendet att hantera extrema olyckslaster.

2. Förutsättningar

2.1 Områdesbeskrivning

Planområdet är utsatt från riskexponering från verksamheten Octapharma samt av farligt godstransporter på Essingeleden, Kellgrensgatan som utgör av- och påfartsväg till Essingeleden samt Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen som nyttjas för godstransporter till/från Octapharma. Ungefärlig placering av planområdet på Kungsholmen samt planstruktur i förhållande till närliggande riskkällor åskådliggörs i figur 9.



Figur 9. Ungefärlig placering av planområdet på Kungsholmen markerat med rödcirkel samt planstruktur till vänster. Angivna avstånd åskådliggör hur närliggande transportleder för farligt gods förhåller sig till planerad bebyggelse.

I tabell 1 återges en kort beskrivning av den planerade bebyggelsen utifrån kvartersstrukturen.

Tabell 1. Sammanställning av planerade verksamheter.

Kvarter	Verksamhet	Info om byggnaderna	Avstånd till riskkällor
1	Bostäder Lokaler	20 400 BTA bostäder 700 BTA lokaler	> 100 meter till Essingeleden och Lindhagensgatan samt 20-30 m till Octapharma
2	Bostäder Lokaler	19 800 BTA bostäder 800 BTA lokaler	150 m till Essingeleden, 5 meter till Lindhagensgatan samt 20-30 m till Octapharma
3	Bostäder Förskola Lokaler	16 900 BTA bostäder 3 600 BTA lokaler varav ca 400 utgör LSS- boende och 1 750 utgör förskola.	Ca 70 m till Essingeleden och 5 meter till Lindhagensgatan
4	Bostäder Lokaler	17 900 BTA bostäder 800 BTA lokaler	> 100 meter till riskkälla
5	Hotell Lokaler	9 400 BTA hotel 1 600 BTA lokaler (reception, lobby, etc.)	> 100 meter till riskkälla
6	Kontor Lokaler	60 000 BTA kontor 10 000 BTA lokaler	25 m till Essingeledens huvudkörbanor, 15 m till avfartsramp samt 5 m till Lindhagensgatan
7	Idrottshall (3 st) inkl kafé	Utifrån framtaget belastningsschema av VIDA Arkitektkontor AB, 2018-12-21 framgår följande personbelastning. Vardagar dagtid (skolidrott), < ca 500 personer Vardagar kvällstid (träning), < ca 400 personer Helger (matcher & turneringar), 500 – 1 450.	25 meter till Essingeleden > 100 m till Lindhagensgatan
8	Kontor Lokaler	29 000 BTA kontor 8 200 BTA lokaler	25 meter till Essingeledens huvudkörbanor, 15 m till av/påfartsramp samt 5 m till Lindhagensgatan

2.2 Octapharma

Octapharmas riskexponeringen mot omgivningen har analyserats i referens [25], nedan återges förutsättningarna från utförd inventering av verksamheten.

Octapharma bedriver verksamhet som innebär tillverkning av läkemedel. Produktionen pågår dygnet runt sju dagar i veckan. Verksamheten är inte klassad som farlig anläggning enligt Lagen om skydd mot olyckor. Inte heller är den klassad som en Sevesoanläggning utifrån Sevesolagstiftningen.

I produktionen används processetanol som huvudsaklig fällningskemikalie. Processetanol är en blandning av nyinköpt och återvunnen etanol. En stor del (ca 85 %) av etanolen återanvänds lokalt, efter att ha passerat återvinningsanläggningen. När etanolens kvalitet är för dålig för att kunna återanvändas köps ny etanol in och den gamla transporteras iväg. Etanolen förvaras i brandtekniskt avskilda rum. Ny etanol förvaras i en cistern på 48 m³ och återvunnen etanol förvaras i åtta tankar om 6-8 m³ vardera. Etanolen distribueras via ett slutet rörsystem. År 2013 användes 511 ton etanol. Etanol är klassad som brandfarlig vara klass 1. Även den brandfarliga vätskan isopropanol används i större mängder.

I produktionen används kväve i flytande form respektive gasform. Kvävet används bland annat vid infrysning av produkter samt i autoklaveringsprocesser. Kvävet förvaras i flytande form i två hålltankar (60 respektive 6 m³) på gården. Kväve är en inert gas, och är varken brandfarlig eller explosiv.

Gasol används vid svetsning av ampuller samt för tändning av oljepannan. Gasolen förvaras i skåp på gården. Fem flaskor finns även i skåp inomhus. Enligt tillståndet för brandfarlig vara får 700 liter gasol förvaras inom området. Gasol är en brännbar gas. Andra brännbara gaser som används är vätgas och acetylen. Enligt tillståndet får 250 liter vätgas och 300 liter acetylen hanteras. Gasen förvaras i flaskor i skåp utomhus, i gasförråd eller verkstad.

Octapharma har två ångpannor för produktion av värme. Pannorna drivs av el respektive eldningsolja. Förväntad mängd olja med maxproduktion och huvudsaklig användning av el och fjärrvärme beräknas till 410 m³ per år. Förbrukningen uppgick 2014 till 2 500 m³. Eldningsolja är en brännbar vätska, klass 3, dvs. flampunkt över 55 °C vilket innebär att den är svårantändlig givet ett utsläpp.

Utöver ovanstående redovisade ämnen hanteras ett antal kemikalier som vid transport klassas som farligt gods. Merparten av ämnena omfattar mindre mängder men bland annat syror (klass 8) förekommer i större mängd. Enligt tillståndsansökan för brandfarlig vara kommer den utökade produktionen inte innebära ökad förvaring av farliga ämnen inom verksamheten.

Idag körs enligt företagets miljökonsekvensbeskrivning från 2014, 304 transporter med farligt gods till anläggningen i Hornsberg varje år. Av dessa utgörs ca 20 % tunga transporter (18-24 meter). De tunga tankbilstransporterna omfattar brandfarlig vätska (primärt etanol). Resterande transporter sker i mindre fordon (12-14 meter). Det rör sig då i de flesta fall av transport av IBC-behållare som rymmer 1 000 liter vardera. Med en utökad produktion i enlighet med nytt erhållit tillstånd, förväntas antalet transporter med farligt gods uppgå till 401 per år. Andelen tung trafik förväntas minska med 40 %. Framgent kan således ca 48 tunga och ca 353 mindre farligt godstransporter förväntas på Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen intill studerat planområde.

Det finns en ny kemikaliestation för lossning och hantering av kemikalier, däribland tankbilar med brandfarliga varor (etanol, olja). Lossningsplatsen ligger på gården, är invallad och försedd med en helautomatisk sprinkleranläggning.

2.3 Transporter av farligt gods på av-/påfartsramper till Essingeleden (Kellgrensgatan) samt Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen

Den skyltade hastigheten på Lindhagensgatan är 40 km/tim. Lindhagensgatan är inte klassad som en transportled för farligt gods. På vägen förekommer dock sådana transporter regelbundet. I och med att SL:s bussdepå ska flyttas till Tomtebodan kommer dessa transporter försvinna från aktuella lokalgator. Som ovan beskrivet genererar Octapharmas verksamhet ett mindre antal farligt godstransporter årligen.

Det finns två drivmedelsstationer på Kungsholmen, Shell vid Lindhagensplan och Preem på Norr Mälarstrand. Transporter till och från dessa kan förekomma på Lindhagensgatan, men de kan även gå via trafikplats Fredhäll om de kommer söderifrån eller ska söderut, de kör i sådant fall på Drottningholmsvägen och ej på Lindhagensgatan. Uppskattningsvis rör det sig maximalt om en transport per dag med diesel, bensin eller etanol till respektive station (varken Shell eller Preem säljer fordonsgas). Det bör noteras att eventuell tungtrafik som kommer norrifrån och som ska vidare mot Alvik/Bromma kommer att nyttja avfartramp inom studerat område och köra på Lindhagensgatan i sydöstlig riktning och vidare på Drottningholmsvägen/Tranebergsbron. Det finns emellertid ingen tydliggjord statistik för antalet farligt godstransporter som skulle kunna komma att köra denna sträcka. För att beakta osäkerheterna förknippade med eventuella farligt godstransporter som kommer norrifrån utgår vidare riskutredningen från att samtliga transporter av brandfarlig vätskor som de två beskrivna drivmedelsstationerna kan förväntas ge upphov går förbi aktuellt område.

Capio St.Görans sjukhus gällande tillstånd för hantering av brandfarlig innebär ett mindre antal farligt godstransporter i form av styckegodstransporter årligen. Driften av fastigheten ger vidare upphov till transporter av medicinska gaser (primärt syrgas) samt transport av diesel till reservkraften. Medicinsk gas fylls på ungefär varannan vecka beroende på förbrukning och dieseltransporter uppgår vanligtvis till 2-3 bulktransporter, om 18 kubik, per år.

Utifrån ovanstående uppgifter kan farligt godstransporterna på de olika transportlederna sammanfattas enligt nedan:

På **Kellgrensgatan** som utgör av- och påfartsväg till Essingeleden förväntas ca 1000 farligt godstransporter per år förekomma. Majoriteten kan förväntas utgöras av transporter av brandfarliga vätskor, andra typer av kemikalier förväntas i en liten omfattning och då som styckegodstransporter.

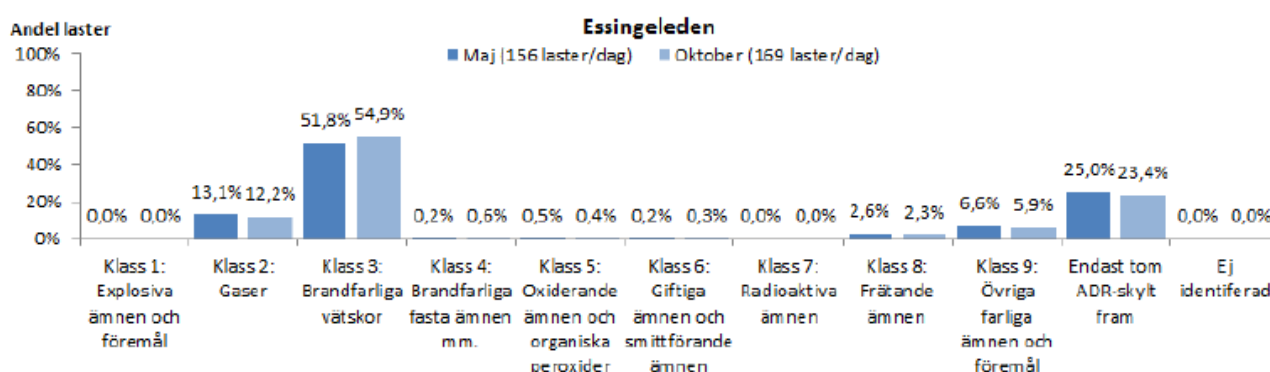
På **Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen** som nyttjas för in-/uttransporter till Octapharma förväntas ca 400 farligt godstransporter per år, varav de flesta är mindre transporter. Majoriteten kan förväntas utgöras av transporter av brandfarliga vätskor (etanol, isopropanol och eldningsolja), andra typer av kemikalier förväntas i en liten omfattning och då som styckegodstransporter.

2.4 Transporter av farligt gods på Essingeleden

Genom planområdet går Essingeleden, vilken utgör en av Sveriges mest trafikerade vägar med cirka 160 000 fordon/dygn. Andelen tung trafik utgör ca 10 %. Motorvägen är utförd med avåkningsräckan och körfälten är åtskilda av en mittbarriär. Den skyltade hastigheten är 70 km/tim. Essingeledens utgör en primär transportled för farligt gods.

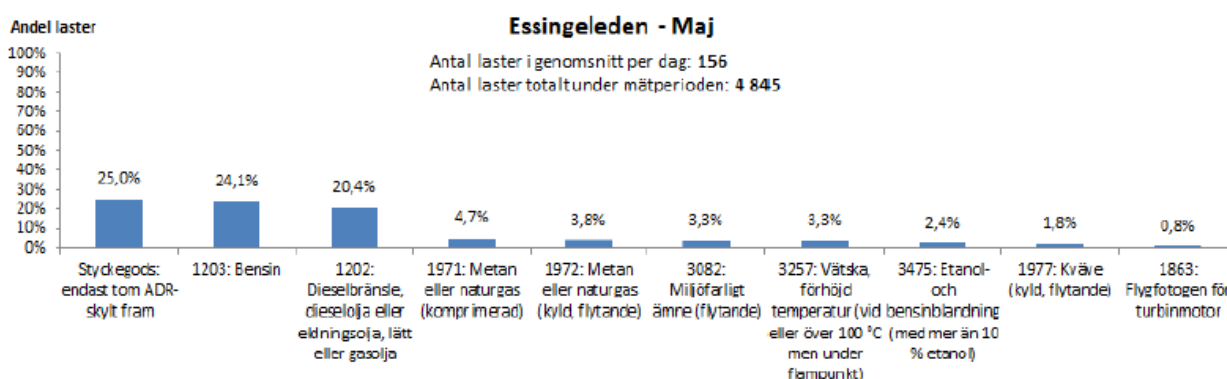
Länsstyrelsen har beslutat om att ge Norra länken, delen under Hagastaden, tunnelkategori B med ett undantag om transporter av ADR-klass 2 klassificeringskoderna F, TF och TFC. Detta innebär att samtliga transporter, förutom transporter av brandfarlig gas, som vid olycka kan generera en mycket stor explosion förbjuds genom Hagatunnlarna. I ett led innebär detta att dessa typer av transporter ej förväntas köras på aktuell sträcka av Essingeleden förbi planområdet.

Staden tillsammans med Trafikverket har under maj och oktober 2015 utfört mätningar av farligt gods transporter analyserat flödet av farligt gods inom på omkring 15 platser i Stockholmsregionen [30]. I genomsnitt registrerades det 665 passager per dag på en vardag och 225 passager per dag under en lördag eller söndag. Generellt gjordes det ungefär tre gånger så många passager på vardagar. Från mätningarna tydliggörs att majoriteten av farligt godstransporten utgörs av brandfarliga vätskor samt styckegods⁵. I figur 10 presenteras den övergripande fördelningen av farligt gods baserat på klass som transporteras på Essingeleden.

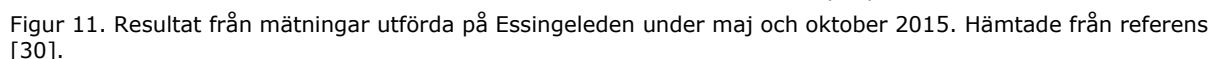


Figur 10. Övergripande fördelning av farligt gods baserat på klass. Hämtade från referens [30].

I figur 11 presenteras mer detaljerad information kring de faktiska kemikalierna som transporteras i störst utsträckning som har kunnat åskådliggöras från utförda mätningar på Essingeleden.



⁵ Det bör noteras att uppgifter avseende transporter med klass 1-varor (explosivämnen) inte kunde erhållas från mätningarna då dessa transporter vanligtvis inte skyltas.



Länsstyrelsen har beslutat att ge Norra länken, delen under Hagastaden, tunnelkategori B med ett undantag om transporter av ADR-klass 2 klassificeringskoderna F, TF och TFC. Detta innebär att samtliga transporter, utöver transport av brandfarlig gas, som vid olycka kan generera en mycket stor explosion förbjuds genom Hagatunnlarna. Detta innebär att transporter av explosivt ämne över 1 ton är förbjudna att transporteras genom tunneln. I ett led innebär detta att dessa typer av transporter ej förväntas köras på aktuell sträcka av Essingeleden förbi planområdet.

I tabell 2 återges en sammanställning av uppskattad mängd farligt godstransporter per år, vilken baseras på ett uppräknat medelvärde av resultaten från utförda trafikmätningar samt den kartläggning (statistik inhämtad från polisen och transportbolagen) av transporter av explosiva ämnen som togs fram inom ramen för Norra Stationsprojektet.

ADR-klass	Typ av farligt gods	Antal transporter per år
1.1 – 1.6	<u>Explosiva ämnen</u> (majoritet är 1.1) <ul style="list-style-type: none"> • 60 kg eller lägre (50 %) • 60 – 500 kg (35 %) • 500 – 1000 kg (10 %) • > 1000 kg (5 %) – förbjudna 	843 590 169 -
2.1	<u>Brandfarliga gaser</u> (främst metan)	
2.2	• Bulktransport	2449
2.3	• växelflak	2758
	<u>Icke brandfarliga, icke giftiga gaser</u>	2250
	<u>Giftiga gaser</u> (främst sprayfärg mm)	46
3	<u>Brandfarliga vätskor</u> (främst bensin, diesel)	31 643
4	<u>Brandfarliga fasta ämnen, etc.</u>	237
5	<u>Oxiderande ämnen och peroxider</u>	267
6	<u>Giftiga ämnen</u>	148
7	<u>Radioaktiva ämnen</u>	0
8	<u>Frätande ämnen</u>	1453
9	<u>Magnetiska material och övriga farliga ämnen</u>	3707
Styckegods	-	14 782
Totalt antal		59 312

I jämförelse med tillgänglig nationell statistik som förelegat tidigare utförda riskutredningar för området kan konstateras att de mer preciserade mätningarna påvisar en större mängd transporter av farligt gods än tidigare antaget. Framförallt kan en tydlig ökning av transporter innehållande brandfarlig gas observeras.

Utifrån den fördjupade transportdatan tydliggörs att det är transporter av naturgas (metan) som kan förutsättas vara den dimensionerande olyckstypen för ADR-klass 2 transporter. Naturgas är en lätt gas och endast antändlig inom små gränser för koncentration i luften (normalt mellan 5 % och 15 % för rent metan) och är vidare förknippad med en relativt långsam förbränningshastighet. Naturgas i flytande form (LNG) transporteras nedkyld ($-162\text{ }^{\circ}\text{C}$) under atmosfärstryck i dubbla vakuumisolerade tankar med kapacitet om ca 20 ton. Komprimerad naturgas (CNG) distribueras vanligtvis i så kallade växelflak (sammankopplade gasflaskor) som klarar mycket höga tryck (ca 200 bar) när gas ska köras ut till tankstationer runt om i länet. Volym per leverans varierar mellan ca 1500-3500 Nm³ per växelflak (1200 – 2800 kg).

2.4.1 Förändringar i trafiksituationen

Det pågår även flera projekt för att minska genomfartstrafiken av farligt gods inom Stockholm, varvid byggandet av Förbifart Stockholm betraktas som den mest betydande. Enligt uppgifter från Trafikverket har förutsättningen vid framtagandet av Förbifarts Stockholms säkerhetskoncept varit att denna ska upplåtas för all typ av farligt godstrafik (A-klass). Den förväntade avlastning av tung genomfartstrafik som Förbifart Stockholm kan förväntas medföra kommer med stor sannolikhet leda till en betydande minskning av farligt godstransporter på Essingeleden. Riskexponeringen från Essingeleden kan således i framtiden förväntas minska sett till dagens situation.

3. Riskanalys

Riskanalysen omfattar endast plötsliga och oväntade olyckshändelser med konsekvens för människor inom det aktuella planområdet. När det gäller plötsliga och oväntade olyckshändelser, kan sådana händelseförlopp i huvudsak härledas till hantering, eller transporter, av farligt gods.

3.1 Allmänt om farligt gods

I vilken grad människor, som befinner sig i närheten av en farligt godsolycka, påverkas beror bl.a. på vilket ämne som frigörs, olyckseffekt och exponeringsgrad. Många farliga ämnen påverkar endast det direkta närområdet till olycksplatsen och kräver att människor kommer i direktkontakt med ämnet för att skadas. En del farligt godsklasser kan dock ge upphov till konsekvenser på längre avstånd och på så sätt komma att påverka omgivningen negativt.

Farligt gods delas in i klasser utefter de egenskaper ämnet har enligt ADR-S för vägtransporter. De farligt godsklasser som kan leda till allvarliga konsekvenser med omkomna människor är främst explosiva ämnen och föremål (klass 1.1), brandfarliga gaser (klass 2.1), giftiga gaser (klass 2.3), brandfarliga vätskor (klass 3) och oxiderande ämnen och organiska peroxider (klass 5). Övriga farligt godsklasser än de som redovisas ovan förknippas med konsekvenser som begränsas till närområdet kring olycksplatsen [11]. Till denna grupp härleds icke brännbara, icke giftiga gaser (klass 2.2), brandfarliga fasta ämnen (klass 4), giftiga ämnen (klass 6), radioaktiva ämnen och föremål (klass 7), frätande ämnen (klass 8) samt magnetiska föremål och övriga farliga ämnen (klass 9). I tabell 3 följer en kort sammanställning av de olika farligt godsklasserna som vid olycka bedöms kunna ge upphov till livshotande skador på människor inom studerat område samt de potentiella skadescenarier som kan uppstå.

Tabell 3. Sammanställning av de för analysen relevanta farligt godsklasser samt de potentiella skadescenarier som kan uppstå vid olycka.

Farligt godsklass	Olyckseffekt
Klass 1 Explosiva ämnen och föremål <i>Sprängämnen, ammunition, fyrverkerier etc.</i>	<p>Farligt gods klass 1.1. <i>Massexplosiva ämnen</i> kan skada människor på ett stort avstånd från olycksplatsen. Vid detonation av massexplosiva ämnen uppkommer stora tryckvågor i omgivningen. Byggnader och människor inom dessa kan komma att ta skada på stora avstånd. Uppkommen tryckvågen kan föranleda skada på trumhinnor och lungor samt kan omkullkastning leda till att människor utomhus förolyckas.</p> <p>En explosion nära byggnader kan leda till att väggar och liknande raseras och att människor skadas/omkommer på grund av detta. Fönster som krossas leder till glassplitter. Riskgrupp 1.2-1.6 innebär ingen risk för massexlosion utan begränsar sig till risk för splitter och kaststycken vid olycka. Konsekvenserna är normalt begränsade till närområdet och bedöms inte påverka byggnaders integritet.</p>

<p>Klass 2.1 Brandfarliga gaser</p> <p><i>Kväve, gasol, vätgas etc.</i></p>	<p>En olycka med farligt gods i klass 2.1 kan få olika skadeverkan.</p> <p><i>Jetflamma</i> – En jetflamma bildas om utströmmande gas under tryck antänds direkt. Störst blir olyckseffekten (flammans längd) om utsläppet sker i vätskenivå. Människor kan förolyckas genom hög värmestrålning.</p> <p><i>Gasmolnsbrand/-explosion</i> – Ett gasmoln bildas om den utströmmande gasen inte antänds direkt. Molnet kan då driva iväg och antändas i ett senare skede. Antändning av gasmoln i det fria karakteriseras vanligtvis av en gasmolnsbrand, men kan under ogynnsamma förutsättningar även resultera i ett förlopp med övertryckeffekter. Människor kan således komma att påverkas av såväl höga värmedoser som övertryckeffekter.</p> <p><i>BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)</i> – En BLEVE kan uppstå då en tank kraftigt upphettas exempelvis av en brand. Olyckseffekten blir värmestrålning och splitter och människor kan skadas på stora avstånd. Då BLEVE uppstår en tid efter upphettning har påbörjats får människor i området chans att sätta sig själva i säkerhet.</p>
<p>Klass 2.3 Giftiga gaser</p> <p><i>Klor, ammoniak etc.</i></p>	<p>Olyckseffekten av ett utsläpp av giftig gas beror mycket på omgivande faktorer såsom väderförhållanden och topografi. Människor kan förolyckas av förgiftning och/eller drabbas av frätskador på stora avstånd från olycksplatsen.</p>
<p>Klass 3 Brandfarliga vätskor</p> <p><i>Bensin, diesel, aceton etc.</i></p>	<p>Ett utsläpp av farligt gods klass 3 är primärt förknippat med uppkomst av en pölbrand vars värmestrålning kan orsaka brännskador på människor samt sprida brand till närliggande byggnader.</p> <p>Människor som befinner sig utomhus förväntas inte omkomma från avgiven strålning från en pölbrand, då det är troligt att dessa människor flyr undan värmen innan de förolyckas.</p>
<p>Klass 5 Oxiderande ämnen och organiska peroxider</p> <p><i>Ammoniumnitrat, väteperoxid, pumpemulsion för sprängning etc.</i></p>	<p>Ett utsläpp av farligt gods klass 5 innebär i sig ingen risk för omgivningen. Om ett utsläpp av klass 5 kommer i kontakt och blandas med t.ex. brännbara vätskor (bensin m.m.) kan dock konsekvensen bli en mycket kraftig explosion.</p>

3.2 Hantering av farligt gods inom Octapharma

Enligt företagets miljökonsekvensbeskrivning försvaras etanol inomhus i brandtekniskt avskilt utrymme. Lagerrummen är vidare försedd med sprinkler. En brand i lagerrum bedöms inte utgöra någon risk för tredje man, utan konsekvenserna förväntas bli begränsade till den egna verksamheten.

En ny tankstation för förvaring av inkommande brandfarliga varor och andra kemikalier togs i drift år 2011. I samband med detta byggdes en ny invallad lossningsplats inne på gården. Vid lossning kan läckage ske om exempelvis lossningsanslutningen lossnar. Läckaget rinner ut och samlas då upp på spillplattan. Lossningsplatsen är vidare försedd med sprinkler i syfte att förhindra att en omfattande brand ska kunna uppstå. Avståndet mellan planområdet och lossningsplatsen är som minst ca 90 meter. Byggnader inom Octapharmas verksamhet ligger dessutom mellan lossningsplatsen och planområdet. En brand som uppstår i samband med lossning bedöms inte föranleda allvarliga konsekvenser mot omgivningen.

Den ringa mängd brandfarlig gas som hanteras inom verksamheten förvaras i flaskor inom väl ventilerade skåp inomhus samt utomhus. Avståndet mellan planerad bebyggelse och gashantering inom Octapharmas verksamhet uppgår till som minst till ca 60 meter. Mellan hanteringen och planområdet återfinns byggnader inom verksamheten. Med hänsyn till detta bedöms inte en eventuell olycka involverande mindre mängder brandfarlig gas inom verksamhet föranleda allvarliga konsekvenser för människor i omgivningen.

3.3 Transporter av farligt gods på Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen fram till infart till Octapharma

Vägutformningen är sådan att trafiken är avskild i de olika körriktningarna. Skyltad hastighet uppgår till 40 km/h. Förutsättningar innebär att det är osannolikt att potentiellt krockvåld ger upphov till skador som kan föranleda det farliga ämnet att rinna ut i samband med en eventuell trafikolycka involverande en farligt godstransport. Utförd inventeringen av farligt godshanteringen inom Octapharma påvisar ett totalt transportantal om ca 400 transporter per år. Majoriteten av transporterna kan förväntas utgöras av mindre godstransporter medan bulktransporter av etanol kan förväntas begränsas till ca 50 st per år. Sett till de farligt godstransporter som verksamheten ger upphov till innebär en olycka involverande en bulktransport av etanol störst potentiellt hot för omgivningen. En olycka involverande mindre godstransporter (IBC-behållare) innebär begränsande konsekvenser för omgivningen med låg sannolikhet för allvarliga skador på människor i omgivningen.

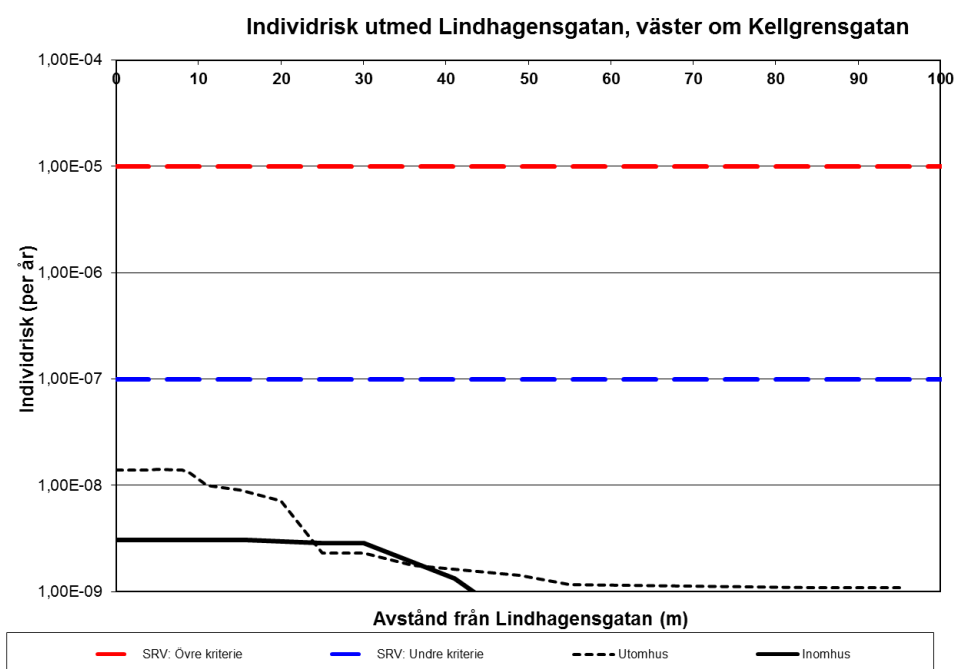
En potentiell olycka involverande bulktransport av etanol är primärt förknippad med risk för pölbrand. Utsänd värmestrålning kan utgöra ett livsfarligt hot för människor i omgivningen samt kan brandspridning till närliggande byggnader uppstå. Konsekvenserna mot omgivningen är starkt beroende av utsläppets karaktär. Det finns i princip två typer av utläckage, ett momentant spill där stora mängder bränsle frigörs ner på vägbanan (t.ex. tankbilen välter och topplocket öppnas vid kollision) eller ett kontinuerligt utflöde från en läckande fordon eller tank (ventil som går sönder i samband med kollision). Vid olycka med brännbar vätska föreligger generellt ingen risk för övertryckseffekter, men under vissa speciella förhållande kan explosionsartade skadescenarier även uppstå (T.ex. vid extrem kollision där hela lasten involveras i olyckan). Med avseende på aktuella trafikala förutsättningar, ingen risk för frontalkollisioner samt låg kollisionshastigheter vid t.ex. en upphinnandeolycka, är bedömningen att mer allvarliga olycksförlopp inte är att förväntas. Detta mot bakgrund av att tankarna till farligt godsfordon har sådan hållfasthet att de normalt håller för skada i låga kollisionshastigheter.

Inom ramen för detaljplan Kristinebergs slott 11 m.m, referens [2], beräknades individrisknivån avseende transporter med farligt gods på Lindhagensgatan väster om Kellgrensgatan. Som

underlag till beräkningarna användes följande antal transporter som baseras på ett uppskattat antal transporter till Octapharma och Hornsbergs bussdepå.

- Transporter med brännbara gaser: 52 st/år
- Transporter med brännbara vätskor till bussdepå: 588-756 st/år
- Transporter med brännbara vätskor till Octapharma: 200-400 st/år

I jämförelse med dagens vetenskap om det framtida farligt godsflödet baserat på Octapharmas nya miljötillstånd samt avvecklingen av bussdepån innebär dessa ingångsvärden en överskattning av antalet transporter med över 100 %. Resultaten från utförda beräkningar påvisar acceptabla individrisknivåer i transportledens direkta närhet, dessa redovisas i figur 12.



Figur 12. Individriskprofiler för person utomhus (överst) respektive inomhus (nederst) som funktion av avståndet till Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen fram till infart till Octapharma. Resultaten är hämtade från [2].

Några nya individriskberäkningar bedöms inte vara nödvändiga att genomföra eftersom åskådliggjorda resultat är utförda för en värre risksituation än den som förväntas råda framgent. Resultaten indikerar att planerad bebyggelse i direkt närhet till berörda transportleder är möjlig utifrån ett riskperspektiv. Vidare kan konstateras att dessa transportrisker har en ringa påverkan på den övergripande samhällsrisknivåerna i området.

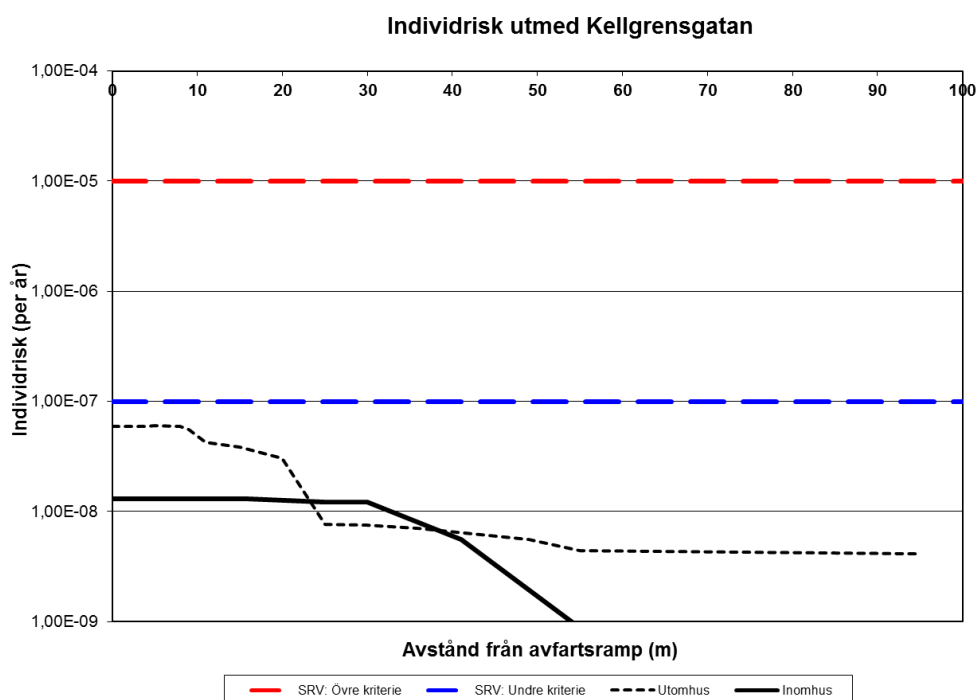
Genomförda konsekvensberäkningar åskådliggjorda i Bilaga B avseende pölbränder med brandfarlig vara indikerar att risken för brandspridning till närliggande byggnader som planeras i direkt anslutning (inom 10 meter från körbana) ej kan uteslutas p.g.a. av de korta skyddsavstånden.

3.4 Transporter av farligt gods på av-/påfartsramper till Essingeleden (Kellgrensgatan).

Förutsättningarna avseende risksituationen och de potentiella olycksförlopp som kan uppstå på av-/påfartsramper till Essingeleden kan likställas med de som beskrivits ovan för Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen. Det primära hotet mot omgivningen är en pölbrand.

Inom ramen för detaljplan Kristinebergs slott 11 m.m, referens [2], beräknades individrisknivån avseende transporter med farligt gods på Kellgrensgatan. Som underlag till beräkningarna användes åskådliggjord indata som för sträckan Lindhagensgatan väster om Kellgrensgatan samt tillkommande transporter av brandfarlig vätska till de lokala drivmedelstationerna på Kungsholmen. Det totala transportantalet antogs till över 2 500, vilket sett till dagens situation med hänsyn till Octapharmas nya miljötillstånd samt avvecklingen av Hornsbergs bussdepå innebär en överskattning av antalet transporter.

Resultaten från utförda beräkningar påvisar acceptabla individrisknivåer i transportledens direkta närhet, dessa redovisas i figur 13.



Figur 13. Individriskprofiler för person utomhus (överst) respektive inomhus (nederst) som funktion av avståndet till av-/påfartsramper (Kellgrensgatan). Resultaten är hämtade från [2].

Några nya individriskberäkningar bedöms inte vara nödvändiga att genomföra eftersom åskådliggjorda resultat är utförda för en värre risksituation än den som förväntas råda framgent. Resultaten indikerar att planerad bebyggelse på ett avstånd som lägst 15 meter från av-/påfartsramperna är möjlig utifrån ett riskperspektiv. Vidare kan konstateras att dessa transportrisker har en ringa påverkan på den övergripande samhällsrisknivåerna i området.

Genomförda konsekvensberäkningar åskådliggjorda i Bilaga B avseende pölbränder med brandfarlig vara indikerar att det är osannolikt att en pölbrand på körbanan föranleder brandspridning in i närliggande byggnader som planeras på 15 meters avstånd.

3.5 Farligt godstransporter på Essingeleden

För att studera samhällsrisknivån längs med Essingeleden på Kungsholmen utifrån ett övergripande perspektiv och hur denna kan reduceras genom olika skyddsåtgärder har Stadsbyggnadskontoret med hjälp av Structor riskbyrå AB gjort en känslighetsanalys av ett antal identifierade parametrar som påverkar samhällsrisknivån. Resultatet från utförd känslighetsanalys påvisar att det primärt är riskbidraget från olyckor involverande brandfarlig vätska samt riskbidraget från olyckor involverande brandfarlig gas som kan förutsättas vara styrande för samhällsriskbilden. Mot bakgrund av resultaten från utförd känslighetsanalys togs inledningsvis ett principiellt skyddskoncept fram inom projektet [5].

Nedan återges inriktningen på den principiella skyddslösningen.

Byggnadstekniska säkerhetsåtgärder i kombination med skyddszon (som utformas för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse) mellan Essingeledens huvudkörbanor och närliggande byggnader avsedda för stadigvarande vistelse utformas för att:

- Eliminera risken för brandspridning in i närliggande bebyggelse samt möjliggöra säkra utrymningsförhållanden vid pölbrand till följd av olycka med klass 3 på Essingeleden.
- Minimera konsekvenserna vid olycka involverande brandfarlig gas (naturgas) samt olycka involverande explosivämnen i en utsträckning som säkerställer att exploateringen inte medför oacceptabla samhällsrisknivåer.

Närmast Essingeleden placeras mer okänslig bebyggelse för att skapa ett skydd för bakomliggande mer känslig bebyggelse samt ytor utomhus som uppmuntrar till stadigvarande vistelse.

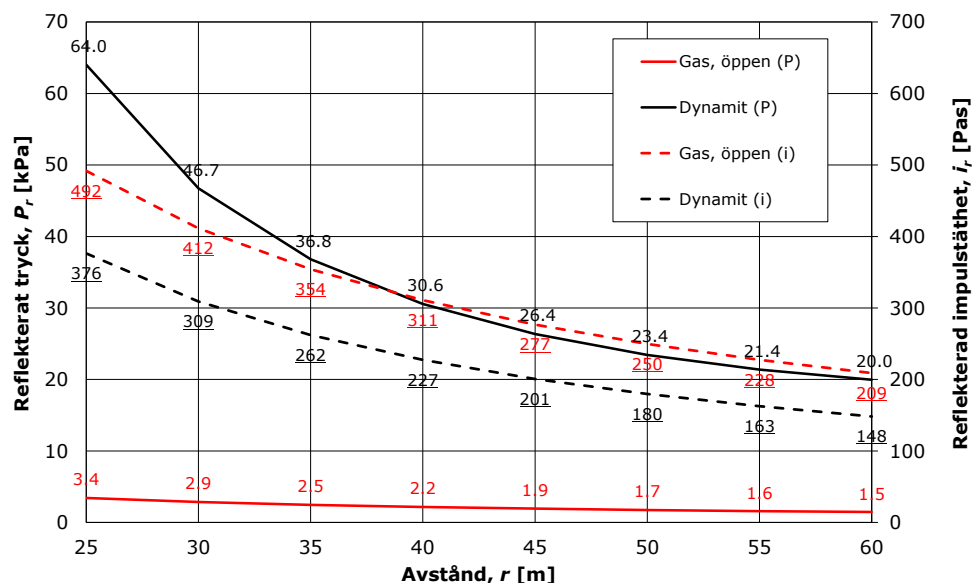
Friskluftsintag ska placeras på sida bort mot Essingeleden för att säkerställa ett tillfredställande skydd mot att brandgaser och andra giftiga gaser tar sig in i byggnader vid olycka på transportleden.

3.5.1 Skydd mot explosionsförlopp

Analys av explosionsförlopp inom tätbebyggda områden är ytterst komplex och är förknippat med stora osäkerheter. För att minimera osäkerheterna i föreliggande riskutredning som utgör beslutsunderlag inför beslutsfattande om planerad markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa har en fördjupade konsekvensanalys tagits fram av explosion och konstruktionsexpert Morgan Johansson. Den fördjupade utredningen återfinns i Bilaga C - *Fördjupad konsekvensbedömning med avseende på explosion på Essingeleden explosionsförlopp*. Utredningen innehåller konsekvensanalys av nedan, för samhällsrisknivåerna, riskstyrande olyckshändelser samt vägledning för hur byggnader intill Essingeleden kan utformas för att ge ett erforderligt skydd mot allvarliga konsekvenser på människor inomhus vid explosionsförlopp:

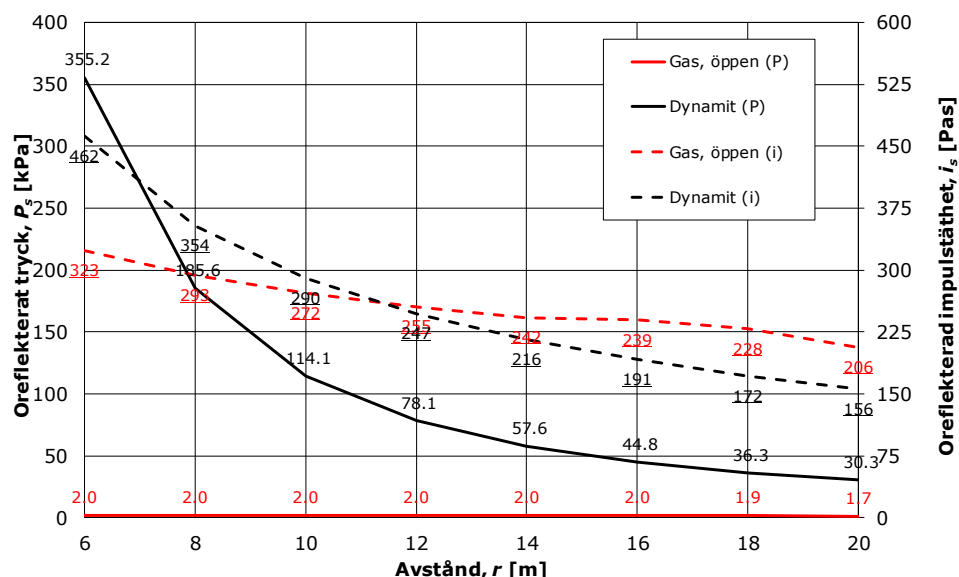
- Gasmolnsexplosion till följd av olycka involverande klass 2 (naturgas).
- Detonation till följd av olycka involverande klass 1 (massexplosiva sprängämnen).

Utifrån skadeanalys av tänkbara lastfall för olika karakteristiska gasmolnsexplosioner i det fria, BLEVE och explosion involverande massexplosivt ämne (dynamit) rekommenderas att närliggande byggnader till Essingeleden ska utformas med en "tät" fasad för dimensionerande laster åskådliggjorda i figur 14. Åskådliggjorda dimensionerande lastfall tänker in samtliga potentiella explosionsförlopp involverande brandfarlig gas samt explosion med dynamit om ca 100 kg. Lastfallen täcker även in eventuella explosionsförlopp involverande brandfarlig vätska. Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor ska klara av att motstå de dimensionerande lastfallen utan att gå sönder. Mot bakgrund av åskådliggjorda lastfall innebär detta att fönsterrutor i fasad ska utformas som explosionsresistenta i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som medför avsett skydd.



Figur 14. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

Gällande planerat P-hus under Essingeleden som utgör verksamhet som ej uppmuntrar till stadigvarande vistelse bedöms det nödvändigt att säkerställa ett skydd mot fortskridande ras av översta bjälklaget för att minimera potentiell skadeomfattning som kan uppstå vid en explosion på Essingeleden. P-husets placering är sådant i förhållande till Essingeleden att en explosionslast inte kommer ge upphov till något direkt reflekterat tryck eftersom en genererad stötvåg först behöver ta sig runt kanten på bron och sedan vända vertikalt nedåt för att kunna ge upphov till en last mot byggnadens övre bjälklag. I figur 15 redogörs dimensionerande lastfall som det övre bjälklaget ska klara motstå.



Figur 15. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid oreflekterad stötvåg, för last mot P-hus för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

Vid bestämning av infallande last ska avstånd till P-huset utgå från vägbanans kant, dvs. avstånd till bjälklagsplatta rakt under Essingeleden ska inte mätas genom brobaneplattan.

Effekter av en "tät" fasad

Om fönster inte utformas som explosionsresistent finns det en överhängande risk att närliggande byggnaders fönsterrutor kommer att gå sönder om det inträffar en explosion på Essingeleden. De vanligast förekommande personskadorna orsakade av en explosion är i regel skador från splitterfragment. Av dessa skador utgörs i sin tur en betydande majoritet av skador från glassplitter från krossade fönster som kastas in i byggnaden. Vid explosion finns det således risk för dödliga utfall för personer som befinner sig nära glasfönster vid fasad som vetter mot Essingeleden.

Om fönsterrutor inte utformas med explosionsresistent glas så är bedömningen att en stor andel fönster som vetter mot Essingeleden kommer att krossas och kastas in i byggnaden. Ett sådant regn av glassplitter kommer ovillkorligen resultera i omfattande skärskador på människor i fönstrens närhet. Med tanke på att glassplittrets inkastningshastighet uppskattas kunna uppgå till omkring 15 m/s för de dimensionerande lasterna så bedöms det vara rimligt att en inte oväsentlig andel personer i byggnaden kommer att ådra sig allvarliga, även dödliga, skador. Vidare kan det uppstå andra typer av personskador inne i byggnaden som härrör från omkullkastning av människor och/eller ras av lättare invändiga byggnadsdelar. Det är dock mycket svårt att bedöma vilken dödlighetsgrad dessa händelser skulle ha. Genom att säkerställa att fasaden blir "tät" mot explosionslast kan denna osäkerhet dock helt undvikas. En "tät" fasad medför således en säkrare bedömning av antalet omkomna vid händelse av en allvarlig olycka på Essingeleden.

Förutom ökat skydd mot explosionslast så medför en "tät" fasad även ett ökat skydd gentemot brand och förekomsten av efterföljande eldklot vid händelse av gasmolnexplosion eller BLEVE. Vid händelse att en explosion inträffar på Essingeleden så är det också rimligt att anta att en brand kan uppstå i samband med detta. De åtgärder som tagits för att säkerställa en brandtålig fasad hos byggnad placerad nära Essingeleden kommer dock få en kraftfullt nedsatt skyddsverkan om betydande delar av fasaden (dvs. fönsterrutor) fallerat på grund av en tidigare inträffad explosion. Av denna anledning fås även ett ökat brandskydd för byggnaden vid händelseförlopp såsom exempelvis BLEVE eller gasmolnexplosion om fasaden utförs som "tät".

En byggnad nära Essingeleden som utformas med en "tät" fasad får flera fördelar:

- Stötvågslasten kommer enbart belasta byggnadens fasad, vilket innebär att potentiella skador på bärande konstruktionsdelar inne i byggnaden effektivt förhindras.
- Glasrutor kastas inte in på människor i byggnaden, ingen risk för invändig omkullvältning eller ras av lättare byggnadsdelar.
- Med intakta glasrutor förbättras skyddet mot värmestrålning, från en efterföljande brand eller eldklot, betänkligt.

Tillsammans medför dessa effekter att några dödsfall inomhus inte är att förvänta för de dimensionerande explosionslastfallen.

Kommentarer

Att utforma fasad "tät" mot explosioner är inte en vedertagen skyddsprincip i samband med fysisk planering intill farligt godsleder inom Stockholm. Vanligtvis omfattar skyddsåtgärder mot explosion endast krav på byggnadens bärande stomme, d.v.s. säkerställandet att byggnaden inte får kollapsa.

Vid sådan dimensionering är det vanligtvis, ur byggnadens lastkapacitetsperspektiv, mer fördelaktigt att utforma byggnaden med en fasad som är så klen som möjligt. Detta för att avlasta lastspridning från fasad till byggnadens globala bärsystem. Denna typ av dimensionering kommer mer stor sannolikhet medföra att byggnadens fasad utformas för att kastas in i byggnaden vid en explosion, något som kan förväntas medföra en omfattande påverkan på de människor som vistas i lokaler innanför denna. De faktiska, positiva skyddseffekterna av att endast säkerställa att byggnadsstommen tål en explosionslast är således svåra att tillgodose i och med att människor innanför fasad fortfarande kan förväntas påverkas i en omfattande utsträckning. I litteratur finns exempelvis angivelser om att ca 30 % av människorna innanför en raseras fasad kan förväntas omkomma [23]. Att endast krävställa ett skydd mot fortskridande ras där dimensionering utgår från större explosionslaster kan således föranleda en byggnadsutformning som innebär ett sämre "total" skydd mot olyckshändelser förknippade med explosionsförlopp. Vidare är det ogörligt att dimensionera såväl fasad och byggnadens bärande stomsystem för kunna motstå mer extrema lastfall, då detta i praktiken innebär en betonglåda utan glaspartier. Mot bakgrund av att majoriteten av antalet explosionsrelaterade transporter på Essingeleden är kopplade till transporter av brandfarlig gas har vid framtagandet av föreslagit skyddskonceptet utgångspunkten varit att skapa ett tillfredställande skydd mot dessa riskstyrande olycksförlopp.

Utförd konsekvensanalys av planerade kontorsbyggnader motståndskraft mot större explosioner (500-1000 kg) påvisar vidare att byggnaderna kan förväntas tåla dessa större laster utan risk att kollapsa. Fasaden kommer emellertid inte att hållas intakt varför tryckvågen kan förväntas sprida sig in i byggnaden, vilket ovillkorligen kan förväntas föranleda många drabbade inomhus. Den potentiella nackdel förknippad med en "tät" fasadutformning; att den effektivare tar upp och för vidare pålagd last in i byggnaden och därmed ökar påkänningen mot byggnadens globala bärsystem innebär således ingen ökad risk för att planerade kontorsbyggnader innehållande många människor skulle kollapsa vid en större explosion på Essingeleden.

Sammanfattningsvis kan konstateras att föreslagen skyddsutformning som innebär att byggnaderna närmast Essingeleden utformas med "tät" fasad har en alltigenom gynnsam inverkan för att säkerställa ett lägre antal omkomna vid händelse av en explosion på Essingeleden. Osäkerheter

Utförd känslighetsanalys av att flytta byggnaderna till ett avstånd om minst 40 meter från Essingeleden påvisar vidare att farliga explosionslaster kan förväntas. För att säkerställa ett tillfredställande skydd mot de dimensionerande explosionsförloppen krävs oavsett ett skyddsavstånd om 25 eller 40 meter att byggnadstekniska åtgärder vidtas för att säkerställa en "tät" fasad. Känslighetsanalysen påvisar att skyddsavstånd som enskild säkerhetshöjande åtgärd har en ringa inverkan i att säkerställa ett tillfredställande skydd mot explosionsförlopp. Med redogjord skyddsutformning, som innebär att byggnaderna närmast Essingeleden utformas med "tät" fasad mot de riskstyrande explosionsförloppen som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på Essingeleden, kan konkluderas att ett ökat skyddsavstånd endast marginellt bidrar till att öka säkerheten för människor inomhus⁶.

⁶ Givetvis innebär ett ökat skyddsavstånd att förväntade tryck och impulstätheter från större explosioner såsom t.ex. 1 ton trotyl minskar, men bedömningen är att skadorna oavsett ett ökat skyddsavstånd kommer vara omfattande.

3.5.2 Skydd mot brandspridning in i byggnader vid händelse av pölbrand

Utifrån redogjorda konsekvenser, se bilaga B, av pölbränder involverande såväl bensen, etanol samt LNG kan konstateras att infallande strålningsnivå mot fasader som placerats på ett skyddsavstånd om 25 meter Essingeleden kan förväntas understiga 15 kW/m². Fullskaleförsök av större pölbränder med etanol påvisar vidare att temperaturen på en fasad placerad 25 meter från riskkällan inte kommer att överstiga 300 °C, detta beaktat en värsta vindriktning i riktning mot fasad. Med utgångspunkt i kriterier enligt BBRAD görs bedömningen att det inte föreligger någon brandspridningsrisk till byggnader som enligt föreslagen struktur placeras med ett minsta avstånd om 25 meter från Essingeleden.

Icke brandklassade fönster har en viss strålningsreducerande effekt (ca 30-50 % beroende på utförande av antal glasskikt) som kommer att medverka i att ytterligare reducera strålningen innanför fasaden [18 & 32]. För att kunna tillgodose vanliga oklassade fönsters strålningsreducerande effekt behövs säkerställas att dessa förblir intakta under brandförloppet. Försök har visat att vanligt oklassat glas (floatglas) kan gå sönder till följd av uppkomna dragspänningar i fönsterkanterna vid en strålningspåverkan om ca 10 kW/m² [17]. Härdat glas har emellertid påvisats kunna tåla en värmepåverkan om 15-50 kW/m² samt en värmepåfrestning om 600 °C under 10 minuter respektive 300 °C under 30 minuter utan att gå sönder [18, 19, 32].

Sett till förväntade infallande strålningsnivåer vid händelse av pölbrand på Essingeleden görs bedömningen att härdat glas av typ 300/30-klass är erforderlig för att säkerställa att glaspartierna bibehålls intakta och vidare att glaspartiernas skydd mot värmestrålning på människor inomhus kan tillgodoses. För att säkerställa avsedd skydd rekommenderas glaspartier i fasad att utföras med en yttre ruta av härdat glas om minst 6 mm tjocklek. Utifrån ett egendomsskyddsperspektiv går vidare att resonera att denna typ av glas är bättre lämpad i fasad längs med en större transportled där risk för yttre brand föreligger i relation till brandklassade glas. Bakgrunden till detta är att de brandklassade glasen behöver bytas ut efter aktivering medan de härdade glasen som utsätts för värmepåfrestning kan förväntas bibehålla sin naturliga funktion och utseende. Utförda fullskaleförsök påvisar att härdade glas visuellt inte påverkas negativt till följd av häftig strålningspåverkan likt fallet av en pölbrand som uppkommer på Essingeledens körbana [32].

Med hänsyn till glaspartiernas strålningsreducerande effekt förväntas strålningsdoserna mot människor direkt innanför fasad från Essingeledens huvudkörbanor understiga 10 kW/m². Belysta strålningsnivåer indikerar att människor direkt inför fasad kan förväntas utrymma på ett betryggande sätt. Bedömningen görs mot bakgrund av acceptanskriterier i BBRAD, som tydliggör att utrymmande personer får utsättas för max 2,5 kW/m² eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m² i kombination med max 60 kJ/m² utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m². För att säkerställa möjligheterna till en trygg utrymning krävs vidare att byggnaden utförs med en alternativ utrymningsväg som mynnar åt sida bort från Essingeleden, detta för att säkerställa att utrymmande kan ta sig till det fria på ett betryggande avstånd från en pölbrand på transportleden. Mot bakgrund av detta bör inte huvudentréer planeras på sida som vetter mot Essingeleden.

3.5.3 Sammanställning av föreslagna skyddsprinciper

Nedan ges en kort sammanställning av föreslagna skyddsprinciper och förväntade skyddseffekter:

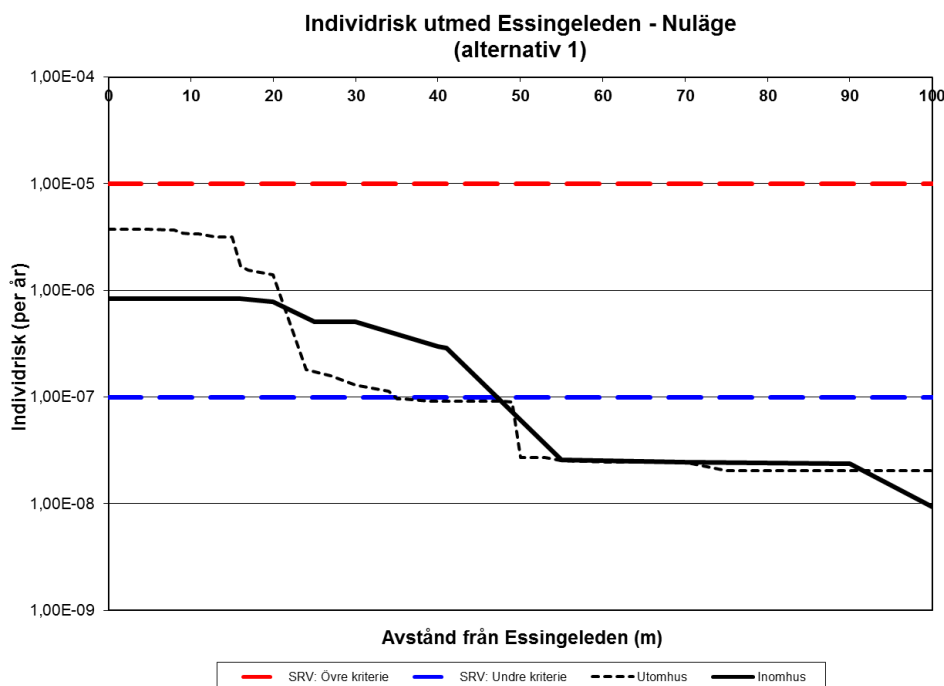
Skyddsprinciper	Skyddseffekter
Byggnader placeras minst 25 m från Essingeledens huvudkörbanors väggkant. Området utomhus mellan byggnader och Essingeleden utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse.	Säkerställer acceptabla strålningsnivåer samt hanterbara explosionslaster mot fasader närmast Essingeleden. Sannolikheten för att människor utomhus ådrar sig allvarliga skador vid en farligt godsolycka minimeras (människor uppmuntras ej vistas i området där individrisknivån kan förväntas vara hög).
Byggnader som planeras närmast Essingeleden utformas med en "tät" fasad ⁷ för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter enligt diagram presenterat i figur 14. Glaspartier i fasad som vetter mot Essingeleden utformas förutom med hänsyn till explosion även för att klara en temperatur om 300 °C under minst 30 minuters tid. Fasader mot Essingeleden utförs i obrännbart material.	Säkerställer att människor inomhus är erforderligt skyddade mot de riskstyrande explosionsförloppen som kan uppstå till följd av en farligt godsolycka på Essingeleden. Eliminerar risken för brandspridning till närliggande byggnader samt säkerställs möjligheten till en trygg utrymning vid händelse av pölbrand på Essingeleden.
Utrymning ska vara möjligt mot trygg sida, d.v.s. en utrymningsväg ska mynna bort ifrån Essingeleden. Huvudentréer ska ej placeras mot Essingeleden.	Säkerställer att människor kan ta sig till det fria på sida bort från olycksplatsen.
Friskluftsintag placeras på trygg sida, d.v.s. på sida bort från Essingeleden. Ventilationssystemet rekommenderas att utformas med möjligt till snabb manuell avstängning, t.ex. via knapp i reception.	Säkerställer ett tillfredställande skydd mot att brandgaser och andra giftiga gaser tar sig in i byggnader vid olycka på Essingeleden.
P-hus under Essingeleden ska utformas på sådant sätt att ett fortskridande ras av översta bjälklaget ej tillåts uppstå vid explosion motsvarande dimensionerande lastfall i figur 15.	Säkerställer ett erforderligt skydd mot uppkomst av allvarliga konsekvenser.

Mot bakgrund av de förväntade skyddseffekterna samt med hänsyn till ringa positiva effekter som erhålls av att flytta bebyggelsen längre från transportleden bedöms inskränkningarna av Länsstyrelsen rekommenderade skyddsavstånd om 40 meter på ett tillfredställande sätt hanteras via föreslagna skyddsprinciper.

⁷ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder.

3.5.4 Förväntade individrisknivåer

Bedömning av individrisknivåer tar utgångspunkt i resultaten från tidigare beräkning av individrisknivåer utmed Essingeleden utförda inom ramen för detaljplan Kristinebergs slott 11 m.m [2], vilka återges i figur 16.



Figur 16. Beräknade individrisknivåer på olika avstånd utmed Essingeleden utan hänsyn till riskreducerande åtgärder. Figur hämtad från [2].

Mot bakgrund av åskådliggjorda skyddsprinciper säkerställs att människor inom planområdet i enlighet med föreslagen markanvändning inte utsätts för oacceptabla individrisknivåer. Inomhus kan individrisknivåerna, med hänsyn till tydliggjorda skyddsprinciper, förväntas vara acceptabla.

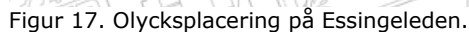
3.6 Samhällsrisk med hänsyn till föreslagna skyddsprinciper

Planområdet gränsar till Essingeleden utmed en sträcka om ca 400 meter. Beräkning av olycksfrekvenserna på Essingeleden utgår emellertid från att en sträcka om 1000 meter analyseras. Frekvensen av en olycka är beräknad för alla transporter på vägen, dvs. ingen åtskillnad görs av transporter i norrgående respektive södergående körriktning. Samhällsriskbidraget från transportriskerna på av-/påfartsramper (Kellgrensgatan) samt berörd del av Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen fram till infart till Octapharma beräknas för aktuella sträckor inom planområdet. Beräknade olycksfrekvenser som ligger till grund för samhällsriskberäkningarna finns redogjorda i Bilaga A - *Frekvensberäkningar*.

Ingen justering av frekvenser beroende av typ av uppkommen skada på tank (stort eller litet hål) eller hänsyn till mer eller mindre gynnsamma spridningsvinklar görs. Detta innebär konservativa resultat mot bakgrund av att utgångspunkten är att bedömningen utgår från de förutsättningar som kan förväntas föranleda störst skada.

Vid beräkning av samhällsrisk beaktas såväl ny bebyggelse inom planområdet som befintligt bebyggelse i närområdet. Samhällsrisknivån presenteras som en F/N-kurva, vilket anger frekvensen för N, eller fler än N, antal omkomna inom det aktuella området till följd av olycka på berörda transportleder.

Samtliga olyckor antas ske på del av Essingeleden inom planområdet, i enlighet med olycksplacering som finns tydliggjord i figur 17. Olycksplacering är vald mot bakgrund av att flest antal personer generellt kan förväntas påverkas i samband med olycka. Bedömningarna tar ej hänsyn till skador inom trafikområdet.



Åskådliggjorda förutsättningar som presenteras i tabell 1 samt följande generella antaganden om personantalet i omgivningen ligger till grund för bedömning av antalet påverkade i samband med olycka:

- Sida 36 (112)

- Personantalet inom befintliga äldre bostadshus öster om Essingeleden mittemot planerad hallbyggnad bedöms vara relativt lågt.
- Personantalet inom befintlig bebyggelse norrut om planområdet (ICA Maxi, kontor) förväntas vara i paritet med planerad kontorsbebyggelse, d.v.s. relativt hög.

Som underlag till beräkningar av samhällsrisk antas att 90 % av alla olyckor inträffar dagtid och 10 % inträffar nattetid. Detta mot bakgrund av resultaten från de nya trafikmätningarna som påvisar att majoriteten av farligt godstransporterna körs på dagtid. Ingen skillnad har gjorts på vardag och helg, såväl olycksfrekvens samt beläggningen antas vara densamma hela veckan.

Utgångspunkt för bedömning av antalet omkomna utgår från redogjorda skyddsprinciper som finns sammanställda i avsnitt 3.5.3. I tabell 4 presenteras bedömningar avseende antalet omkomna för respektive olycksförlopp.

Tabell 4. Sammanställning av bedömningar av antalet omkomna för respektive olycksförlopp.

Olycksförlopp	Kommentarer avseende antalet omkomna i omgivningen
<u>Essingeleden</u>	
Explosion, klass 1.1 60 kg eller lägre	Föreslagna skyddsprinciper säkerställer att explosionslaster inte tillåts tränga in i närliggande byggnader. Inga människor utomhus utanför trafikområdet förväntas påverkas.
Explosion, klass 1.1 60-500 kg	Föreslagna skyddsprinciper minimerar effekterna av konsekvenser inomhus. För explosioner i den övre spannet förväntas emellertid att krossade glaspartier kan komma att skada människor innanför fasad. Ca 1 % av människorna inom byggnaderna förväntas skadas, vilket ger ett uppskattat antal döda om 50 människor $[(60\ 000 + 30\ 000\ \text{BTA}/20) \times 0,01]$. Inga människor inom övrig bebyggelse i närområdet bedöms omkomma. Detta görs mot den bakgrund av att eventuella glaspartier som går sönder i dessa byggnader inte bedöms kastas in med dödlig kraft. För människor utomhus förväntas konsekvenserna vara begränsade mot bakgrund av att ytor mellan de närmsta byggnaderna och Essingeleden utformas för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse. Enstaka personer inom P-hus under Essingeleden eller på Lindhagensgatan förväntas påverkas.
Explosion, klass 1.1 500-1000 kg	Baserat på att närliggande kontorsbyggnader utförs med betongstomme och betongfasad har dessa goda möjligheter att klara sig tämligen bra (ingen risk för kollaps). Fasaden kommer emellertid inte att hållas intakt varför tryckvågen kan förväntas sprida sig in i byggnaden, vilket ovillkorligen kan förväntas föranleda ett större antal drabbade inomhus pga av glassplitter samt att lättare väggare raseras. Ca 3 % av människorna inom byggnaderna förväntas omkomma, vilket ger ett uppskattat antal döda om 135 människor $[(60\ 000 + 30\ 000\ \text{BTA}/20) \times 0,03]$. För de bostadshus utformade med tegelfasad och mindre glaspartier i fasad som ligger öster om Essingeleden, mitt emot Kv 7, är den övergripande bedömningen att de förhållandevis väl skulle klara en kraftfull explosion med rådande avstånd från explosionscentrum. Bedömningen är att dessa inte kollapsar, men människor direkt innanför fasad kan drabbas av inkastade glaspartier. Samma bedömning görs för planerad hallbyggnad och befintlig bebyggelse i norr som återfinns på större avstånd från explosionscentrum. För den nya bebyggelse som planeras bakom första radens byggnader så kommer denna vara förhållandevis väl skyddad från en större explosion på Essingeleden. Liksom för befintliga byggnader på större avstånd från explosionscentrum kan det visserligen uppkomma krossade glasfönster men någon fara för att byggnaderna ska ådra sig kritiska skador bedöms inte finnas. Bedömningen är att antalet omkomna inom dessa byggnaderna kommer vara relativt lågt mot bakgrund av att inkastningshastigheten av glassplitter kan förväntas vara relativt lågt. Bedömningen är att antalet omkomna inom dessa byggnader understiger 20 % av uppskattas antal omkomna inom kontorsbyggnaderna på dagtid. Nattetid förväntas ett mindre antal direkt innanför fasad i de befintliga boendehusen, antalet omkomna bedöms understiga 10 personer. För människor utomhus förväntas konsekvenserna vara begränsade mot bakgrund av att ytor mellan de närmsta byggnaderna och Essingeleden utformas för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse. Ett mindre antal personer på Lindhagensgatan och inom P-hus under Essingeleden bedöms påverkas. Antalet omkomna utomhus på dagtid förväntas understiga 10 personer, nattetid förväntas enstaka personer kunna omkomma.

Gasutsläpp (bulk) - pölbrand	<p>Skyddsprinciperna bedöms säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning in i närliggande byggnader samtidigt som en förutsättning för en trygg utrymning skapas. Inga människor inomhus förväntas omkomma.</p> <p>Sett till åskådliggjorda strålningsnivåer bedöms personer på Lindhagensgatan hinna förflytta sig i till säkerhet utan risk för farlig exponering. Med hänsyn till detta samt att ytor mellan de närmsta byggnaderna och Essingeleden utformas för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse görs bedömningen att inga människor i det fria förväntas omkomma.</p>
Gasutsläpp (bulk) - gasmolnsbrand/ gasmolnsexplosion	<p>Skyddsprinciperna innebär att ett tillfredställande skydd skapas för dessa olycksförlopp, inga människor inomhus bedöms omkomma inom planerad bebyggelse. Bedömningen görs mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från en flash-fire (eldklot) inte tar sig in i byggnaden. Inga omkomma inomhus förväntas inom planerad bebyggelse.</p> <p>Första radens tätt planerade byggnader innebär vidare att ett tillfredställande skydd skapas för bakomliggande boendehus samt ytor utomhus som planeras för stadigvarande vistelse. Inga omkomna förväntas på dessa platser.</p> <p>För befintlig bebyggelse som inte är utförd med en "tät" fasad och ligger exponerad mot Essingeleden bedöms emellertid en större gasmolnsexplosion kunna föranleda fönsterkross som innebär att människor inomhus kan komma att bli exponerade mot efterföljande eldklot. Mot bakgrund av de långa skyddsavstånden från explosionscentrum till dessa byggnader är dock bedömningen att endast ett mindre antal omkomna i lokalerna direkt innanför fasad förväntas. Totalt bedöms antalet omkomna inomhus vid en större gasmolnsexplosion understiga 20 personer på dagtid och 5 personer nattetid.</p> <p>Oskyddade människor på Lindhagensgatan som inte hinner fly undan ett drivande gasmoln innan antändning sker bedöms omkomma. Sett till förväntad skadeutbredning bedöms antalet understiga 10 personer dagtid, nattetid förväntas enstaka personer kunna omkomma.</p>
Gasutsläpp (bulk) - BLEVE	<p>Mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från efterföljande eldklot inte tar sig in i byggnaden bedöms antalet omkomna inom planerad bebyggelse vara låg. Undantaget är att utslungade fragment kan komma att penetrera fasad med ett mindre antal dödsfall inomhus.</p> <p>Första radens tätt planerade byggnader innebär att potentiell explosionslast inte förväntas skada bakomliggande boendehus, d.v.s. fasadernas skydd mot att hålla värmepåverkan borta från människor inomhus bedöms kunna tillgodoses.</p> <p>För befintlig bebyggelse som inte är utförd med en "tät" fasad och ligger exponerad mot Essingeleden bedöms emellertid en BLEVE kunna föranleda fönsterkross som innebär att människor inomhus kan komma att bli exponerade mot efterföljande eldklot.</p> <p>Totalt bedöms antalet omkomna inomhus vid en BLEVE understiga 40 personer dagtid och nattetid bedöms antalet understiga 10 personer.</p> <p>Sett till redogjorda skadezoner finns risk att såväl ytor utomhus bakom första radens planerade bebyggelse som en större del av Lindhagensgatan kan komma att påverkas av uppkommet eldklot. P-hus under Essingeleden bedöms vara relativt väl skyddad av bron med hänsyn till att eldklotet primärt förväntas stiga vertikalt. Mot bakgrund av att BLEVE först inträffar efter en längre stunds upphettning är det vidare troligt att de människor som uppfattar olyckan kommer att hinna fly från skadezonen.</p> <p>Sett till förväntad utbredning bedöms 50 personer kunna omkomma i utomhus på dagtid. Nattetid antalet omkomna understiga 5 personer.</p>
Gasutsläpp (flak) - gasmolnsbrand	Sett till den relativt korta redogjord skadezonen och med hänsyn till ytor utomhus mellan Essingeleden och första raden bebyggelse utformas för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse bedöms inga människor i omgivningen omkomma.
Gasutsläpp (flak) - jetflamma	Sett till den relativt korta redogjord skadezonen och med hänsyn till ytor utomhus mellan Essingeleden och första raden bebyggelse utformas för att inte uppmuntra till stadigvarande vistelse bedöms inga människor i omgivningen omkomma.
Gasutsläpp (flak) - kärlsprängning	<p>Mot bakgrund av den "täta" fasaden som ger upphov till ett skydd mot tänkbara explosionslasterna samt att värmestrålningen från efterföljande eldklot inte tar sig in i byggnaden bedöms antalet omkomna inom planerad bebyggelse vara låg. Undantaget är det relativt stora mängderna utslungade fragment kan komma att penetrera fasad och föranleda omkomna inomhus. Samma risk finns för befintligt bebyggelse som vetter mot Essingeleden.</p>

	<p>Med hänsyn till första radens tätt planerade byggnader bedöms konskeveserna av utslungande fragment primärt begränsas till byggnaderna närmast Essingeleden. Denna bebyggelse bedöms vidare skydda bakomliggande boendehus och ytor utomhus från att allvarligt påverkas.</p> <p>Totalt bedöms antalet omkomna inomhus vid kärlsprängning understiga 15 personer dagtid och nattetid bedöms antalet understiga 5 personer.</p> <p>Även för människor utomhus bedöms den stora faran vara att träffas av flygande fragment. Sett till redogjorda skadezoner för potentiellt eldklot som kan uppkomma finns även risk för att människor utomhus omkommer till följd av en intensiv värmepåfrestning. Det är primärt människor på del av Lindhagensgatan kan komma att påverkas dessa effekter utomhus. P-hus under Essingeleden bedöms vara relativt väl skyddad av bron. Mot bakgrund av att kärlsprängning först inträffar efter en längre stunds upphettning är det vidare troligt att de människor som uppfattar olyckan kommer att hinna fly från skadezonen.</p> <p>Sett till förväntad skadeutbredning bedöms antalet omkomna utomhus understiga 10 personer dagtid, nattetid förväntas enstaka personer kunna omkomma.</p>
Mycket stort utsläpp av giftigt gasutsläpp	<p>Sett till skyddsprinciperna som innebär att friskluftsintag placeras på trygg sida, d.v.s. bort från Essingeleden samt att möjlighet skapas för snabb avstängning av ventilationssystemet bedöms människor inomhus inom planerade bebyggelse inte förolyckas.</p> <p>Utan närmare inblick i hur ventilationssystemen för befintlig närliggande befintlig bebyggelse är utformad är bedömningen att luftomsättningen med stor sannolikhet skapar förutsättningar för att människor inomhus ska kunna försätta sig i säkerhet. Bedömningen är att ett mindre antal omkomna kan uppstå inom dessa byggnader. 5 personer antas förolyckas inomhus dagtid medan 10 personer antas förolyckas nattetid.</p> <p>Sett till redogjorda skadezoner finns risk att människor utomhus på långa långa avstånd från olycksplatsen kan komma att påverkas.</p> <p>Bedömning av antalet omkomna utgår från att att människor inom åskådliggjord röd zon (27 x 179 m) antas omkomma medan ca 15 % av människorna inom orange zon (128 x 953) antas omkomma medan övriga hinner försätta sig i säkerhet. Utgångspunkten vid bedömning av antalet omkomna är att spridning sker mot Lindhagensgatan eftersom personantalet förväntas vara högst i detta område.</p> <p>Totalt bedöms 100 personer omkomma utomhus dagtid, medan 10 personer förväntas förolyckas nattetid. Det bör noteras att ingen hänsyn är tagen till den förväntade utspädnings-effekt som den täta bebyggelsen kan förväntas ge upphov till. Bedömningen att 100 personer skulle omkomma utomhus är således väldigt grov och med största sannolikhet överskattat.</p>
Medelstort utsläpp av giftigt gasutsläpp	<p>Bedömningarna utgår på motsvarande sätt som för ett mycket stort utsläpp av giftig gas.</p> <p>Bedömning av antalet omkomna utgår från att att människor inom åskådliggjord röd zon (10 x 60 m) antas omkomma medan ca 15 % av människorna inom orange zon (40 x 300) antas omkomma medan övriga hinner försätta sig i säkerhet. Utgångspunkten vid bedömning av antalet omkomna är att spridning sker mot Lindhagensgatan eftersom personantalet förväntas vara högst i detta område.</p> <p>Totalt bedöms 10 personer omkomma utomhus dagtid, medan 2 personer förväntas förolyckas nattetid. Inga personer förväntas omkomma inomhus i omgivningen.</p>
Brandfarlig vätska - pölbrand	<p>Skyddsprinciperna bedöms säkerställa ett tillfredställande skydd mot brandspridning in i närliggande byggnader samtidigt som en förutsättningar för en trygg utrymning skapas. Inga människor inomhus förväntas omkomma.</p> <p>Sett till åskådliggjorda strålningsnivåer bedöms personer på Lindhagensgatan hinna förflytta sig i till säkerhet utan risk för farlig värmeexponering. Med hänsyn till detta samt att ytor mellan de närmsta byggnaderna och Essingeleden utformas för att ej uppmuntra till stadigvarande vistelse görs bedömningen att inga människor i det fria förväntas omkomma.</p>

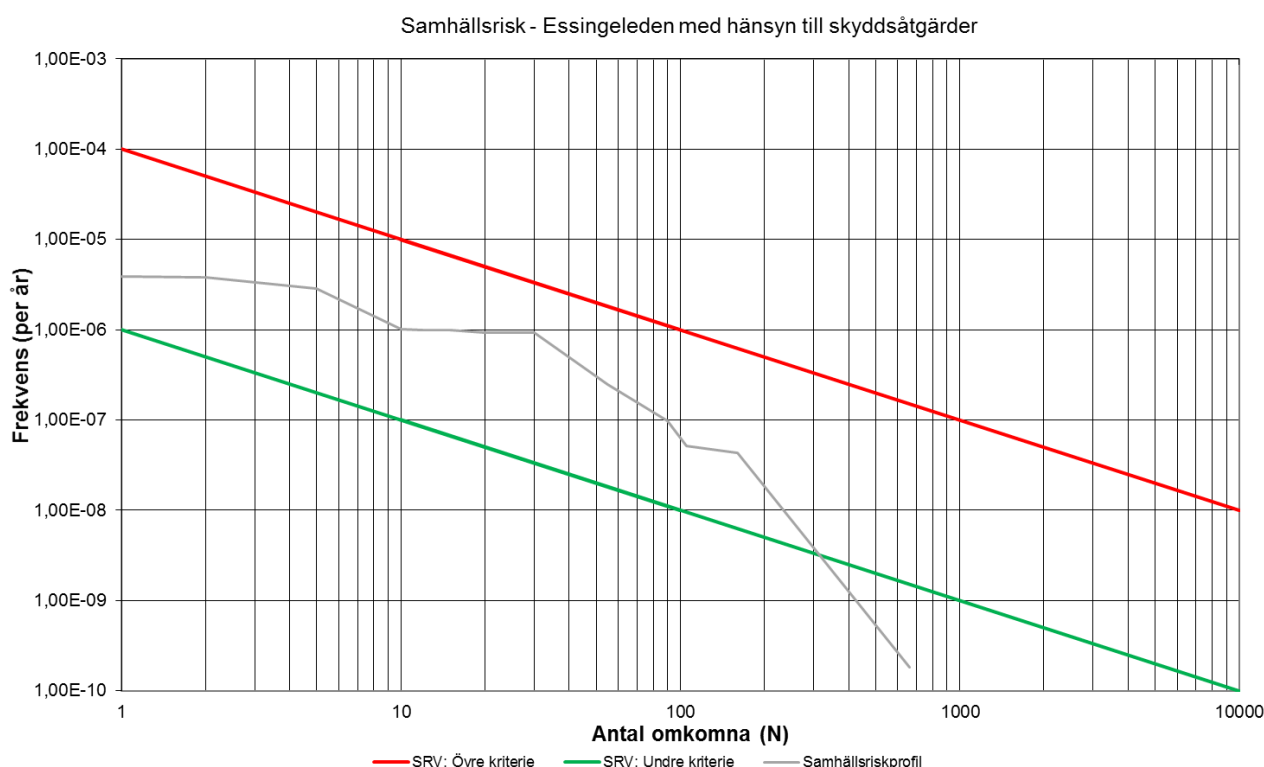
Explosion klass 5 (1-4 ton trotyl)	<p>Bedömningarna utgår på motsvarande sätt som redogjorda konsekvenser för en stor explosion involverande klass 1.1 (500-1000 kg trotyl). Skillnaden är att risken för fortskridande ras av hallbyggnaden inkluderas i bedömning av antalet omkomna. Totalt bedöms 660 människor i omgivningen omkomma dagtid och 25 personer nattetid.</p> <p>Det bör noteras den extremt låga olycksfrekvensen uppkomst att ett explosionsförlopp involverande klass 5 innebär att påverkan från dessa konsekvenser har en ringa påverkan på samhällsrisknivån. Sett till redogjorda olycksfrekvenser kan närmare 10 000 omkomna accepteras utan bidraget föranleder att samhällsrisknivån att hamna inom ALARP-området.</p>
<u>Av-/påfartsramper</u>	
Brandfarlig vätska - pölbrand	<p>Sett till åskådliggjorda strålningsnivåer bedöms det osannolikt att brandspridning in i närliggande byggnad planerad med ett minsta avstånd om 15 meter från körbanan ska uppstå till följd av en pölbrand. Med hänsyn till glaspartiernas strålningsreducerande effekt bedöms vidare människor inomhus kunna utrymma på ett tryggt sätt. Inga människor inomhus förväntas omkomma vid en pölbrand.</p> <p>Människor i det fria bedöms ha goda möjligheter att försätta sig i säkerhet vid händelse av en pölbrand. Med hänsyn till detta samt att ytor mellan körbanan och de närliggande byggnaderna inte utformas för att uppmuntra till stadigvarande vistelse görs bedömningen att inga människor förväntas omkomma utomhus.</p>
<u>Lindhagensgatan - Nordenflychtsvägen</u>	
Brandfarlig vätska - pölbrand	<p>Sett till åskådliggjorda strålningsnivåer kan inte brandspridning in i närliggande byggnader uteslutas vid händelse av en pölbrand. Störst risk bedöms vara om olycka inträffar nattetid, detta mot bakgrund av att sovande människor inom planerade flerbostadshus har mindre chans att ta sig ut från lägenheten vid händelse av brandspridning in i lokal innanför fasad. Endast människor inom berörda lokaler kan förväntas påverkas i och med brandcellsindelningen inom byggnaden. Vid händelse av pölbrand som föranleder brandspridning in i exponerade lokaler direkt innanför fasad bedöms 10 personer omkomma. Dagtid har bedöms dels majoriteten av människorna vara utanför hemmet samt kommer troligtvis en vaken människa hinna utrymma lägenheten inna kritiska förhållanden uppsrät inom berörd lokal. Dagtid bedöms antalet omkomna inomhus understiga 2 personer.</p> <p>Ett relativt stort personantal förväntas vidare vistas längs med Lindhagensgatan under dagtid, vilket medför att risken att någon i omgivningen utomhus ska komma att påverkas är trolig. Människor i det fria bedöms vidare ha goda möjligheter att fly undan branden utan att förolyckas. Bedömningen utgår från att en enstaka person utomhus kan komma att förolyckas dagtid. Nattetid förväntas ingen omkomma utomhus.</p>

I tabell 5 presenteras en sammanställning av utförda frekvens och konsekvensbedömningarna som ligger till grund för beräkning av samhällsrisknivå, med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.

Tabell 5. Sammanställning av frekvens och konsekvensbedömningar som ligger till grund för åskådliggjord samhällsrisknivå med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.

<i>Olycksförlopp</i>	<i>Olycka dag</i>	<i>Olycka natt</i>	<i>Totalt antal omkomna (dag)</i>	<i>Totalt antal omkomna (natt)</i>
<u>Essingeleden</u>				
Explosion 60 kg eller lägre	4,3E-07	4,7E-08	0	0
Explosion 60-500 kg	3,0E-07	3,3E-08	55	2
Explosion 500-1000 kg	8,5E-08	9,5E-09	160	12
Gasutsläpp (bulk) - pölbrand	8,6E-07	9,5E-08	0	0
Gasutsläpp (bulk) - gasmolnsbrand	1,6E-06	1,8E-07	5	1
Gasutsläpp (bulk) - gasmolnsexplosion	6,8E-07	7,5E-08	30	2
Gasutsläpp (bulk) - BLEVE	4,5E-08	5,0E-09	90	15
Gasutsläpp (flak) - gasmolnsbrand	2,5E-06	2,8E-07	0	0
Gasutsläpp (flak) - jetflamma	1,5E-06	1,7E-07	0	0
Gasutsläpp (flak) - kärlsprängning	5,1E-08	5,7E-09	20	0
Giftigt gasutsläpp	8,5E-08	9,4E-09	100	10
Brandfarlig vätska - pölbrand	1,3E-04	1,5E-05	0	0
Explosion klass 5 (ca 4 ton trotyl)	1,8E-10	2,0E-11	660	25
<u>Av-/påfartsramper</u>				
Brandfarlig vätska - pölbrand	1,4E-07	1,6E-08	0	0
<u>Lindhagensgatan – Nordenflychtsvägen</u>				
Brandfarlig vätska - pölbrand	2,4E-07	2,7E-08	5	2

I figur 18 presenteras beräknad samhällsrisknivå med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper.



Figur 18. Beräknad samhällsrisknivå med hänsyn till skyddsåtgärder.

Beräkningarna påvisar att planerad markanvändning i enlighet med planförslaget, med hänsyn till redogjorda skyddsprinciper, inte förväntar föranleda en oacceptabel samhällsrisknivå för studerad del av Essingeleden. Resultaten påvisar att samhällsrisknivån kan förväntas hamna i det så kallade ALARP-området. Bakgrunden till den relativt höga samhällsrisknivån (trots att omfattande åtgärder har vidtagits för att hantera de för samhällsrisknivån riskstyrande olyckshändelserna) kan primärt härledas till att beräkningarna har utgått från ett mycket högt antaget personantal utomhus (4 gånger högre än tidigare utförda riskutredningar i området). Vidare har frekvensberäkningarna utförts utan hänsyn, till de genomgående ogynnsamma, spridningsriktningarna som antagits vid bedömning av antalet omkomna utomhus.

Mot bakgrund av detta samt att det idag återfinns ett högt personantal på Lindhagensgatan, går det inte att via en alternativ markanvändning eller ytterligare byggnadstekniska säkerhetsåtgärder inom föreliggande detaljplan skapa förutsättningar som medför helt acceptabla samhällsrisknivåer. Vidare bör noteras samhällsrisknivåer inom ALARP-området inte är något ovanligt inom ramen för fysisk planering.

4. Känslighetsanalys

Risikanalyser är alltid förknippade med osäkerheter, framförallt rör osäkerheterna antagna mängder farligt godstransporter och fördelningar mellan de olika klasserna. Ändrade mängder eller fördelningar kan komma att påverka risknivå i både positivt och negativ bemärkelse. Sett till att det pågår flera projekt för att minska genomfartstrafiken av farligt gods inom Stockholm, varvid byggandet av Förbifart Stockholm betraktas som den mest betydande, anses det rimligt att förutsätta att riskexponeringen från farligt godstransporter på Essingeleden kommer att minska i framtiden. Med hänsyn till detta samt att föreliggande utredning har tagit utgångspunkt i resultaten från nyligen utförda trafikmätningar bedöms resultaten återge en konservativ risksituation.

Antagna persontätheter inomhus och utomhus i samband med olyckstillfället påverkar beräkningar av antalet drabbade i omgivningen givet olycka. På samma sätt har antaganden av när på dygnet olyckor förutsätts inträffa bäring på resultaten. I grundberäkningar antas konservativt att majoriteten av olyckorna inträffar på dagtid då personbelastningen i området är som störst (nattetid förväntas de mest utsatta verksamheter och omgivningen i stort vara tomt på människor). Vidare har riskberäkningar utgått från ett mycket högt antaget personantal utomhus i närområdet till riskkällan, antagen personbelastning är en faktor 4 högre sett till antaganden i tidigare utförda riskutredningar för området.

För att åskådliggöra hur osäkerheter i antaganden påverkar resultaten genomförs en fördjupad känslighetsanalys, se Bilaga D - *Fördjupad känslighetsanalys*, av de parametrar som kan förväntas påverka riskbilden i större utsträckning. Idrottshallens tämligen veka konstruktion innebär att denna är känslig för större explosioner. Mot denna bakgrund är det av intresse att analysera hur antagande av explosionscentrum påverkar samhällsrisknivåerna samt huruvida risknivåerna är robusta mot en eventuell ökning av antalet klass 1-transporter. Den fördjupade känslighetsanalysen omfattar även hur risknivåerna kan påverkas vid händelse av att ett stort utsläpp av giftig gas som påverkar ett större antal av människorna inomhus. Analyserat scenario antas representera att många fönster i fasad står öppna vid händelse av olyckan, vilket är att betrakta som ett form av worse-case scenario.

Resultaten från den fördjupade känslighetsanalysen indikerar att mer eller mindre grova antagande om olycksplacering påverkar beräknade samhällsrisknivåer i relativt stor utsträckning. Detta mot bakgrund av att antalet omkomna till följd av kollaps idrottshallen i relation med antalet omkomna inom kontorshusen skiljer mer än en faktor 3. Det kan konstateras att den tämligen veka idrottshallen i relation till de mer robusta kontorshusen generellt lämpar sig sämre intill farligt godsleder där explosionsrisk föreligger utifrån ett samhällsriskperspektiv.

Vad gäller osäkerheter kopplat till bedömning av antalet omkomna inomhus vid ett större utsläpp av giftig gas så innebär de låga olycksfrekvenserna att risknivåerna är tämligen okänsliga mot dessa osäkerheter. Att helt skydda sig mot konsekvenser av ett stort utsläpp av giftigt gas är vidare ogörligt inom en stadsmiljö. Via införlivade skyddsåtgärder i detaljplanen som innebär att friskluftsintag placeras på sida bort från Essingeleden minimeras antalet påverkade i omgivningen. Inom ramen för fysisk planering tillsätts generellt ingen annan åtgärd för att skydda sig mot omfattande konsekvenser vid händelse av ett större utsläpp av giftig gas.

Baserat på nya uppgifter som presenteras i Trafikkontorets rapport "FARLIGT GODS - TRAFIKSTYRNING Ökad kunskap om farligt gods och förutsättningar för styrning av transporter" finns indikationer på att antalet klass 1 transporter har underskattats i en icke försumbar utsträckning. Utifrån de nya intervjuer som under 2017 genomförts med branschföretag i Stockholmsregionen framkommer att omfattningen av klass 1 transporter inom staden uppgår till ca 10 - 12 transporter, där lasten uppgår till 3 - 400 kg vardera. De nya uppgifterna indikerar ett

trafikarbete om totalt ca 3650-4380 transporter per år givet att transportererna antas köras ut 7 dagar i veckan alternativt 2600-3120 transporter per år givet att transportererna antas köras ut 5 dagar i veckan. Vidare är det oklart vilka vägar dessa typer av transporter belastar, men rimligen kan en större andel förväntas passera Essingeleden. En ytterligare slutsats från intervjuerna är att de större transportererna, över 1 ton, inte passerar Mälarsnittet särskilt ofta. Rapporten redovisar vidare att majoriteten av transportererna sker innan kl. 07:00.

Sett till att de nya uppgifterna indikerar att majoriteten av transportererna sker innan kl. 07:00 råder det vidare stora osäkerheter i hur stor riskexponeringen kan antas vara för aktuell detaljplan, detta sett till att de utsatta verksamheterna längs med Essingeleden (kontorsbyggnaderna samt idrottshall) förväntas stå tomma nattetid/tidig morgon. Sett till utgångspunkten i utförda grundberäkningar vad gäller samhällsrisk kan sägas att åskådliggjord samhällsriskprofil täcker in ett omvänt förhållande, d.v.s. att 10 % av klass 1 transporter antas transporteras dagtid och 90 % nattetid. Beräkningar utförda för en fördubbling av transporter av klass 1-varor över 100 kg täcker in ett förhållande där 20 % av antalet transporter antas ske dagtid och 80 % nattetid. Skulle riskberäkningar utföras med en högre fördelning av transporter på dagtid kan konstateras att det är problematiskt att säkerställa godtagbara samhällsrisknivåer givet att idrottshallen riskerar kollaps vid en explosion. De mer robusta kontorshusen är betydligt mindre känsliga för en sådan förändring.

Kopplat till osäkerheterna förknippade med antaganden om antal transporter ska vidare beaktas att det pågår flera projekt för att minska genomfartstrafiken av farligt gods inom Stockholm, varvid byggandet av Förbifart Stockholm betraktas som den mest betydande. Troligtvis innebär driftsättningen av Förbifart Stockholm att farligt godsflödet på Essingeleden minskar framgent, detta även inkluderat klass 1 transportererna.

Vid beräkning av olycksfrekvenser har utgångspunkt tagits i den så kallade VTI-metoden. Metoden är vedertagen inom Sverige och används i stor utsträckning vid riskbedömningar längs med farligt godsleder. Aktuell metod är några decennier gammal och bygger på olycksstatistik från tidigt 90-tal. Vidare återfinns stora osäkerheter i bedömning av delsannolikheter för hur en trafikolycka kan utvecklas till en farligt godsolycka. Ofrånkomligen innebär denna typ av händelseträdsanalys att mer eller mindre grova antaganden behöver göras.

Jämförelse med olycksstatistik⁸ från hela Europa påvisar att sannolikheten för att en stor explosion (över 100 kg) i samband med en olycka i en för vägtransport av ADR klass 1 kan sättas till 2×10^{-10} per ton-km. Bakgrund till ingångsvärdet är att det enligt Eurostat transporteras 400 miljoner ton-km klass 1 per år i Europa. Mellan åren 1995-2010 har totalt transporterats ca 6×10^9 miljoner ton km klass 1 utan att någon katastrofal olycka inträffat. Detta ger en olycksrisken kan sägas understiga $1,67 \times 10^{-10}$ per ton-km, ovan avrundat till 2×10^{-10} per ton-km.

Med stöd från ovanstående jämförelse kan slutsatsen dras att det finns indikation till att sannolikheten för de olycksförlopp som är förknippade med katastrofpotential överskattas. Överslagsberäkningar utförda med stöd från den aktuella trafikstatistiken erhållna från belysta trafikmätningar på Essingeleden påvisar att skillnaden i frekvensuppskattningar för olyckor som är förknippade med explosionsförlopp kan uppgå till så mycket som ca 3-4 tiopotenser. Skulle samhällsriskberäkningar ta utgångspunkt i dessa olyckskvoter skulle riskbidraget från olyckor med explosivt ämne i princip vara försumbart.

I tabell 6 åskådliggörs skillnaderna i beräknade olycksfrekvenser för berörda olycksförlopp.

⁸ Från förslag på ingångsparametrar i Trafikverks rapport TRV 2014/7297 *Krav och råd för överdäckning och säkerhet vid användning*, 2014 [31].

Tabell 6. Sammanställning av skillnader i olycksfrekvenser baserat på val av metod.

Olycksförlopp	Frekvens (VTI)	Frekvens (ingångsvärlden enligt TrV krav och råd för överdäckningar och säkerhet vid användning)
Explosion 60 kg eller lägre	2,4 E-07	1,7 E-10
Explosion 60-500 kg	1,7 E-07	1,2 E-10
Explosion 500-1000 kg	4,7 E-08	3,4 E-11
Gasutsläpp - Stor gasmolnsexplosion	7,5 E-07	2,4 E-11
Gasutsläpp - BLEVE	5,0 E-08	2,4 E-11

Det görs ingen ansats att försöka precisera vilken metod som återger den mest representativa riskbilden, utan snarare dras slutsatsen att hänsyn behöver tas till de stora osäkerheterna och troliga överskattningarna som görs vid beräkning av riskbidraget från de allra allvarligaste händelserna vid beslutsfattande. Oberoende av val av beräkningsmetod framgår av jämförelsen att de acceptanskriterier som anges i Eurokoderna med avseende på brotts sannolikheter för fortskridande ras, vilka har åskådliggjorts i avsnitt 1.6.1., innehålls utan att särskilda säkerhetshöjande behöver beaktas.

Det föreligger vidare stora osäkerheter i bedömt antal omkomna vid händelse av en explosion till följd av olycka involverande klass 1.1, primärt med avseende på att utförda bedömningar konservativt ej beaktar det förväntade tidsförloppet från att en olycka inträffar till dess att det föreligger risk att lasten exploderar. Sett till hur transportfordonen är utformade (robusta stålkonstruktioner där lastutrymmet består av olika brandceller), chaufförens utbildning och möjlighet till en första släckinsats är bedömningen att det är osannolikt att en brand sprider sig till lasten, vilket i ett led skulle kunna initiera en detonation. Baserat på ovanstående kan argumenteras att ansatt sannolikhet för att en uppkommen brand sprider sig till lasten och initierar en detonation är för högt ansatt. I konsekvensberäkningar har vidare ingen hänsyn tagits till det tidsförlopp som är förknippat med upphettning av last. Enligt kompletterande uppgifter från olika transportbolag som inhämtats av Trafikkontoret framgår att det krävs en fullskalig brand i 2 timmar för att lasten ska explodera, andra har nämnt 45 minuter. Detta innebär att räddningstjänsten har goda möjligheter att släcka uppkommen brand alternativt evakuera närområdet på människor. Baserat på att verksamheterna som är mest utsatta (idrottshall tillsammans med kontorsbyggnader) är lätt utrymningsbara med hänsyn till att människor förväntas vara vakna samt att lokalerna blir utrustade med heltäckande utrymningslarm bedöms räddningstjänstens möjligheter till en omfattande evakuering vara goda trots den höga exploateringsgraden. Gällande risken för uppkomst av en stötinitierad detonation så är bedömningen att denna i princip kan betraktas som försumbar, detta sett till aktuell vägutformning som innebär en hastighetsbegränsning om 70 km/h samt att det inte finns någon risk för frontalkollisioner. En upphinnande olycka i lägre hastigheter bedöms ej kunna initiera en detonation. Utgångspunkten i utförda beräkningar har konservativt varit att sannolikheten för detonation givet starka påkänningar är lika stor som för att en brand sprider sig till lasten i samband med olycka.

En mer robust utformning av idrottshallen innebär att samhällsrisknivåerna inom planområdet kan göras betydligt mindre känslig mot antagande om vart en explosion inträffar samt hur många och när på dygnet transporter av klass 1 varor transporteras. Huruvida en alternativ konstruktionsutformning kan anses vara försvarbar eller inte är inte uppenbart utifrån ett riskhanteringsperspektiv. Detta sett till alla belysta osäkerheter som är förknippat med frekvens- och konsekvensbedömning av potentiella explosionsförlopp vilka indikerar att riskbidraget från dessa olycksförlopp överskattas vid riskbedömning. Med hänsyn till att planerad verksamhet är riktad mot en bredare målgrupp där även barn och unga förväntas vistas dagligen kan vidare argumenteras för att större hänsyn ska tas till att beakta möjliga skyddsåtgärder givet belysta osäkerheter. Med hänsyn till detta har olika alternativ av hur idrottshallen byggnadstekniskt skulle

kunna förstärkas för att öka dess motståndskraft mot större explosioner studerats. Utgångspunkten här har varit att säkerställa att idrottshallen ej riskerar fortskridande ras och kollaps givet en större explosion om 400 kg dynamit i ett led att minimera potentiella konsekvenser. Val av last är direkt proportionellt med de nya uppgifterna gällande transporter av klass 1 varor inom Stockholmsregionen.

Resultatet från denna analys påvisar att det bedöms möjligt att via byggnadstekniska åtgärder säkerställa erforderlig lastkapacitet i byggnadens bärande stomsystem i ett led tillskapa ett skydd mot fortskridande ras och kollaps av byggnaden. Nödvändiga byggnadstekniska åtgärder innebär inga begränsningar sett till avsedd funktion eller gestaltning av byggnaden utan effekterna är primärt förknippade med en utökad byggkostnad. Med hänsyn till detta är bedömningen att det utifrån ett kostnad-/nyttoperspektiv är motiverat att ställa krav på att utforma idrottshallen med särskild hänsyn till en större explosion som inträffar på Essingeleden.

Med aktuella förstärkningsåtgärder kan konsekvenserna av en större explosion om 400 kg dynamit effektivt begränsas till lokala byggnadsskador där risken för personskador inom byggnaden begränsas till att personer i närhet av explosionscentrum kan komma att bli träffade av inkastade glastrutor och lättare parocement som återfinns i fasaden. Skadeutbredningen kan således begränsas till att personer som vistas direkt innanför fasad riskerar att allvarligt skadas/förolyckas givet en större explosion.

Utifrån ett samhällsriskperspektiv innebär en förstärkning av idrottshallen att samhällsrisknivåerna inom planområdet kan göras okänsliga mot vart en explosion antas inträffa. Riskbilden kan vidare konstateras robust sett till eventuella förändringar i antalet transporter av klass 1 varor på Essingeleden.

För att omhänderta åskådliggjorda osäkerheter gällande idrottshallens negativa inverkan på samhällsrisknivåerna föreslås att utökade skyddsbestämmelser för idrottshallen inarbetas i planhandlingarna i ett led att säkerställa godtagbara risknivåer över tid.

5. Diskussion och slutsatser

Planområdet är lokaliserat till en, ur risksynpunkt, utsatt plats med hänsyn till att planerad bebyggelse ligger i nära anslutning till Essingeleden som är klassad som en primär transportled för farligt gods. Transporter av farligt gods till lokala målpunkter på Kungsholmen förekommer även på Kellgrensgatan som utgör av- och påfartsväg till Essingeleden samt på Lindhagensgatan och Nordenflychtsvägen som går igenom planområdet.

Vad gäller transportriskerna på Lindhagensgatan och Nordenflychtsvägen samt Kellgrensgatan så innebär de trafikala förutsättningarna (låg hastighet och låg risk för våldsamma kollisioner) samt det relativt lilla totala transportarbetet att riskerna förknippade med farligt godsolyckor är ringa. Detta åskådliggörs av redogjorda individriskprofiler som tydliggör att acceptabla risknivåer kan förväntas i den direkta närheten av transportlederna. Transportriskerna på Essingeleden har åskådliggjorts ha en betydande påverkan på risksituationen i omgivningen.

I ett led att säkerställa att planerad markanvändning inte ger upphov till en oacceptabel samhällsrisknivå (säkerställa en acceptabel risk för katastrofer vid händelse av olycka på Essingeleden i höjd med planområdet) har ett antal skyddsprinciper arbetas fram. Skyddsprinciperna innebär att tillkommande bebyggelse utformas med ett tillfredställande skydd mot de för samhällsrisknivåerna riskstyrande olyckshändelserna. Resultaten från utförda samhällsriskberäkningar påvisar att skyddsprinciperna säkerställer att samhällsrisknivån i studerat området längs med Essingeleden ej blir oacceptabla.

Slutsatsen är att tänkt exploatering kan utföras enligt föreslagen struktur under förutsättning att skyddsprinciperna som förelegat utförda samhällsriskberäkningar införlivas som skyddsbestämmelser i plankartan/planbeskrivningen. Följande förslag på skyddsåtgärder bedöms nödvändiga för att säkerställa godtagbara risknivåer planområdet:

- P-hus under Essingeleden ska utformas på sådant sätt att ett fortskridande ras av översta bjälklaget ej tillåts uppstå vid explosion motsvarande karakteristiska tryck och impulstätheter i figur 15⁹.
- Byggnader ska placeras minst 25 m från Essingeledens huvudkörbanors väggkant och minst 15 meter från av-/påfartsramperna.
- Området utomhus mellan byggnader och Essingeleden och tillhörande av-/påfartsramper ska utformas så att det inte uppmuntrar till stadigvarande vistelse.

Byggnader som planeras närmast Essingeleden, kv.6, kv.7 samt kv. 8 ska utformas med följande byggnadstekniska åtgärder:

- Fasader mot Essingeleden, av-/påfartsramp samt Lindhagensgatan ska utföras i obrännbart material.
- Huvudentréer ska planeras mot trygg sida, d.v.s. sida som ej vetter mot Essingeleden. Alternativa utrymningsvägar får planeras mot Essingeleden.
- Byggnaders fasader som vetter mot Essingeleden ska utformas "tät"¹⁰ för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter åskådliggjorda i figur 14.
- Idrottshallens globala stabiliserande stomme ska utformas för att motstå karakteristiska tryck och impulstätheter åskådliggjorda i tabell 14.

⁹ Vid bedömning av lastfall ska avstånd till P-huset utgå från vägbans kant, dvs. avstånd till bjälklagsplatta rakt under Essingeleden ska inte mätas genom brobaneplattan.

¹⁰ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder.

- Kontorshusen globala stabiliserande stomme ska utgöras av platsgjuten betong och/eller av prefabricerade betongelement med armeringen av klass C.
- Glaspartier i fasad som vetter mot Essingeleden inom 40 meter ska utformas för att klara en temperatur om 300 °C under minst 10 minuters tid.
- Byggnader ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från Essingeleden. Anordning för central nödavgång av ventilationssystemet rekommenderas att uppföras inom byggnad, t.ex. placeras knapp i bemannad reception.

I ett led att säkerställa en "tät" fasad innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad behöver utformas explosionsresistenta, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd sett till redogjorda karakteristiska tryck och impulstätheter.

I ett led att säkerställa att glaspartier klara en temperatur om 300 °C under minst 10 minuters tid rekommenderas en yttre glastruta i härdat glas om minst 6 mm tjocklek.

Byggnader som planeras bakom första radens bebyggelse ska utformas med friskluftsintag på trygg sida, d.v.s. på sida bort från Essingeleden. Eventuella springventiler i fasad mot Essingeleden accepteras.

Mot bakgrund av att en pölbrand på Lindhagensgatan kan ge upphov till allvarliga konsekvenser i omgivningen bör säkerhetshöjande åtgärder vidtas så långt som rimligt möjligt. Med anledning av detta ges nedan förslag på säkerhetshöjande åtgärder för ny bebyggelse inom studerat område som bedöms motiverade utifrån ett kostnad-/nyttoperspektiv.

Observera att åtgärder utmed Nordenflychtsvägen gäller från Lindhagensgatan fram till in-/utfart till Octapharma. För kv. 1 gäller således enbart åtgärder inom angivna avstånd från infarten till Octapharma.

- Områden utomhus mellan Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen och planerad bebyggelse ska inte utföras så att de uppmuntrar till omfattande stadigvarande vistelse.

Som omfattande stadigvarande vistelse räknas exempelvis större torgytor, lekplatser, förskolegård etc.

- Fasader som vetter mot Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen utförs i obrännbart material.
- Svårutrymda verksamheter som planeras med yttervägg mot Lindhagensgatan eller Nordenflychtsvägen utförs med glaspartier i fasad motsvarande lägst brandteknisk klass EI 30.

Som svårutrymd verksamhet räknas bland annat förskola och äldreboende.

- Byggnader som inrymmer verksamheter som är klassade som svårutrymda eller omfattar sovande personer och ligger utmed Lindhagensgatan eller Nordenflychtsvägen utförs så att det finns möjlighet att utrymma mot en trygg sida, dvs. bort från vägen.

Ovanstående åtgärdsförslag kan behöva omformuleras så att de följer de regler som gäller för utformning av planbestämmelser enligt Plan- och Bygglagen (2010:900). Observera att ovanstående åtgärder endast utgör förslag och att det är upp till kommunen/projektet att ta beslut om åtgärderna ska implementeras.

Referenser

- [1] *Översiktlig riskanalys för nyexploatering på nordvästra Kungsholmen i Stockholm*, Tyréns, 2001.
- [2] *Detaljerad riskanalys kv Kristinebergs slott 11 m.m*, Brandskyddslaget, 2013.
- [3] *Detaljerad riskanalys kv Kristineberg 1:10*, Brandskyddslaget, 2015.
- [4] *Riskhantering med fokus på samhällsrisk inom programområdet Nordvästra Kungsholmen*, Stockholm Stad, Structor, 2014.
- [5] *PM - Strategier för hantering av samhällsrisk längs med Essingeleden*, RiskTec Projektledning, 2016.
- [6] Länsstyrelserna Skåne län, Stockholms län och Västra Götalands län, *Riskhantering i detaljplaneprocessen – Riskpolicy för markanvändning intill transportleder för farligt gods*, 2006.
- [7] *Riktlinjer för planläggning intill vägar och järnvägar där det transporteras farligt gods*, Länsstyrelsen i Stockholms län, Fakta 2016:4.
- [8] *Handbok för riskanalys*, Räddningsverket, 2003.
- [9] Räddningsverket (bl.a. i samarbete med DNV), *Värdering av risk*, ISBN 91-88890-82-1, 1997.
- [10] *Riskanalyser i detaljplaneprocessen - vem, vad, när & hur?*, Länsstyrelsen i Stockholms Län, Rapport 15:2003.
- [11] Stadsbyggnadskontoret i Göteborg (i samarbete med FOA risk & VBB Samhällsbyggnad), *Översiktsplan för Göteborg, fördjupad för sektorn – Transporter av farligt gods*, Bilaga 1-5, Dnr: 758/92, 1999.
- [12] *Fördjupning – Riskanalys vald vägsträcka*. Vägverket publikation 2005:55
- [13] *RIVM - Reference Manual Bevi Risk Assessments*, National Institute of Public Health and the Environment, Netherlands, 2009.
- [14] Shokri, M. & Beyler, C.L., *Radiation from large pool fires*, J. of Fire Prot. Engr., 1 (4), pp 141–150, 1989.
- [15] Hägglund, B & Persson, L.E. *The heat radiation from petroleum fires*, FOA, rapport C30126-D6, 1976.
- [16] *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, National Fire Protection Association 2nd ed. Quincy, MA, 1995.
- [17] Brandteknik (2005). *Brandskyddshandboken*. Rapport 3134, Lund Tekniska Högskola, Lund.
- [18] *PM Brandskydd glasad fasadkonstruktion, Park 1, Nybyggnad av Samverkancentral mm*, ACC Glasrådgivare AB, 2013.

- [19] Olsson, P. & Skårman, J. *Brandspridning mellan fönster - En analys av lämpligt avstånd*, Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola Lunds universitet, Rapport 5410, Lund 2012
- [20] DNV (2013), *QRA Göteborg GO₄LNG Terminal*. Det Norske Veritas.
- [21] VROM (2005), *Guideline for Quantitative Risk Assessment*, "Purple book". Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederländerna.
- [22] FOI (2009) *Om explosionsbenägenhet vid olycka i samband med transport av farligt gods klass 5*, FOI Memo 2774.
- [23] Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998) *Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor*, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och Avdelningen för Vapen och Skydd, Försvarets Forskningsanstalt, FOA-R--97-00490-990—SE, Sverige.
- [24] *ETANKFIRE – Experimental result of large ehanol fuel pool fires*, SP Report 2015:12, Fire Research.
- [25] *Riskanalys Hornsbergskvarteren*, Brandskyddslaget, 2017.
- [26] Johansson, M. (2017) *Nordvästra Kungsholmen – Konsekvensbedömning med avseende på explosion*, ÅF.
- [27] Nilambar B., Indra M.M., Vimal C.S. (2015) *Fire and explosion hazard analysis during surface transport of liquefied petroleum gas (LPG): A case study of LPG truck tanker accident in Kannur, Kerala, India*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 40 (2016), sida 449-460.
- [28] Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J.M. (2015) *Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 34 (2015), sida 127-138.
- [29] Muhammad M.J., Aziz R., Salim, A., Faisal K. (2015) *LNG pool fire simulation for domino effect analysis*. Reliability Engineering and System Safety 143 (2015), sida 19-29.
- [30] *Analyser av transporter med farligt gods – Mätningar utförda i stockholm under maj och oktober 2015*, WSP, 2016.
- [31] *Krav och råd för överdäckning och säkerhet vid användning*, Trafikverks rapport TRV 2014/7297, 2014.
- [32] *Utvärdering av brandglas i fasad*, N. Johansson & E. Steen, Rapport 5564, Lund 2017, Examensarbete på brandingenjörsutbildningen

Bilaga A - Frekvensberäkningar

I denna bilaga beräknas sannolikheten för att ett skadescenario uppstår givet att en trafikolycka involverande farligt gods inträffar på aktuella vägsträckor som passerar planområdet. Bedömning av frekvensen för en olycka med farligt gods som leder till utsläpp görs enligt metod som beskrivs i Vägverkets rapport *Fördjupning – Riskanalys vald vägsträcka* [12]. Beräkningar för Essingeleden utförs för en normerad sträcka av 1 km eftersom det är efter detta som acceptanskriterierna i avsnitt 1.6 är anpassade efter. Risktillskottet från potentiella olyckor på av-/påfartramp från Essingeleden samt Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen beräknas för aktuella sträckor genom planområdet. Hänsyn tas till de specifika olycksfrekvenserna som kan förväntas råda för respektive transportled. Den indata som tillsammans med utförd inventering av farligt godsflödena används i beräkningarna åskådliggörs i tabell 7.

Tabell 7. Indata för bedömning av sannolikhet för olycka med farligt gods.

Variabel	Essingeleden	Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen & av-/påfartsramper
Hastighet (tätort)	70 km/h	40 km/h
Q (Olycksfrekvens/miljon fordonskilometer)	0,6 [12]	1,2 respektive 1,5 [12]
F (Antal fordon/olycka)	1,8 [12]	1,8 [12]
L (längd)	1 km	500 m respektive 100 m

Frekvensen för olycka med farligt gods per år kan beräknas med hjälp av ekvationen nedan:

$$P = N \times Q \times F \times L \times 10^{-6}$$

Vid frekvensberäkning antas det att sannolikheten för trafikolycka är oberoende av vilken last som ryms i lastbilen, d.v.s. sannolikheten för att en farligt godstransport är inblandad är direkt kopplad till hur stor andel av det totala antalet transporter som rymmer farligt gods.

N utgör antalet farligt godstransporter och utgår från resultaten från utförd inventering enligt nedan sammanställningar.

Essingeleden

ADR-klass	Typ av farligt gods	Antal transporter per år
1.1 – 1.6	<u>Explosiva ämnen</u> (majoritet är 1.1) <ul style="list-style-type: none"> 60 kg eller lägre (50 %) 60 – 500 kg (35 %) 500 – 1000 kg (10 %) > 1000 kg (5 %) – förbjudna 	843 590 169 -
2.1	<u>Brandfarliga gaser</u> (främst metan)	2449
2.2	• Bulktransport	2758
2.3	• växelflak	2250
	<u>Icke brandfarliga, icke giftiga gaser</u>	46
	<u>Giftiga gaser</u> (främst sprayfärg mm)	
3	<u>Brandfarliga vätskor</u> (främst bensin, diesel)	31 643
4	<u>Brandfarliga fasta ämnen, etc.</u>	237
5	<u>Oxiderande ämnen och peroxider</u>	267
6	<u>Giftiga ämnen</u>	148
7	<u>Radioaktiva ämnen</u>	0
8	<u>Frätande ämnen</u>	1453

9	<u>Magnetiska material och övriga farliga ämnen</u>	3707
Styckegods	-	14 782
Totalt antal		59 312

Av-/påfartsramper (Kellgrensgatan)

På av-/påfartsramper till Essingeleden förväntas maximalt 1000 farligt godstransporter per år förekomma. Majoriteten kan förväntas utgöras av transporter av brandfarliga vätskor, andra typer av kemikalier förväntas i en liten omfattning och då som styckegodstransporter. Konservativ antas samtliga transporter utgöras av bulktransporter av brandfarlig vätska vid sammanställning av frekvensen för olycka.

Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen

Utförd inventeringen av farligt godshanteringen inom Octapharma påvisar ett totalt transportantal om ca 400 transporter per år. Majoriteten av transporterna kan förväntas utgöras av mindre godstransporter medan bulktransporter av etanol kan förväntas begränsas till ca 50 st per år. Konservativ antas samtliga transporter utgöras av bulktransporter av brandfarlig vätska vid sammanställning av frekvensen för olycka.

Sammanställning

En sammanställning av beräknade olycksfrekvenser för att en farligt godstransport ska vara involverad i en trafikolycka på berörda transportleder redogörs i tabell 8.

Tabell 8. Sammanställning av beräknade olycksfrekvenser för berörda transportleder.

<i>Olycksförlopp</i>	<i>Olycksfrekvens</i>
<u>Essingeleden</u>	
Explosion 60 kg eller lägre	9,1E-04
Explosion 60-500 kg	6,4E-04
Explosion 500-1000 kg	1,8E-04
Gasutsläpp (bulk)	2,6E-03
Gasutsläpp (flak)	3,0E-03
Giftigt gasutsläpp	5,0E-05
Utsläpp av brandfarlig vätska	3,4E-02
Explosion klass 5	2,9E-04
<u>Av-/påfartsramper (Kellgrensgatan)</u>	
Utsläpp av brandfarlig vätska	2,7E-04
<u>Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen</u>	
Utsläpp av brandfarlig vätska	4,3E-04

Det bör noteras ovanstående olycksfrekvenser inte innebär att farliga konsekvenser mot omgivningen uppstår givet en trafikolycka. För att detta ska uppstå krävs att den farliga godstransporten skadas på sådant sätt att det uppstår ett farligt olycksscenario såsom exempelvis explosion, brand, etc.

Olycksfrekvensen för möjliga potentiella olycksförlopp som kan komma att uppstå givet en olycka med farligt gods beräknas för respektive farligt godsklass i nedanstående avsnitt.

A.1. Essingeleden

A.1.1. Olycka involverande massexplosiva ämnen

En detonation kan uppstå antingen till följd av att starka påkänningarna på lasten till följd av själva trafikolyckan eller till följd av en brand som sprids till lasten. Ämnen ur riskgrupp 1.1 får enbart transporteras i fordon som uppfyller krav för s.k. EX/II- eller EX/III-fordon, vilket innebär krav på utförandet av elektronik, bromsar, energiabsorberande zoner samt förebyggande åtgärder mot brandrisker. Detta syftar till att reducera sannolikheten för trafikolycka som kan leda till stora påkänningar eller brandspridning till lasten vid t.ex. en motorbrand. Med avseende på detta utgår bedömningen från att det krävs en våldsam kollision som skadar transportfordonet samtidigt som det uppstår en brand som sprider sig till lasten. Med utgångspunkt i den statistiska sammanställning utförd av FOI [22] antas att 2 % av antalet bränder med betydelse för lastbilar uppkommer till följd av en kollision. Antal bränder av betydelse för lastbilar med farligt gods kan enligt FOI [22] ansättas till 0,2 per 10 miljoner fordonskilometer baserat på tillgänglig statistik. Beräkningarna utgår vidare från att spridning till lasten och uppkomst av detonation av hela lasten uppstår i 50 % av fallen.

Det finns idag ingen känd forskning kring hur stor kraft som behövs för att initiera detonation av det fraktade godset vid en trafikolycka. Med hänsyn till aktuell vägutformning som innebär en hastighetsbegränsning om 70 km/h samt att det inte finns någon risk för frontalkollisioner är bedömningen att det är väldigt otroligt att starka påkänningar kan föranleda en detonation. Det är bedöms troligt att transportfordonens utformning som innebär att energin vid en kollision ska tas upp av olika energiabsorberande zoner skapar ett tillfredställande skydd mot krafter som kan uppstå vid en upphinnande olycka under aktuella förutsättningar. Mot bakgrund av den ringa information som finns tillgänglig för att motivera detta skydd utgår dock beräkningarna konservativt från att sannolikheten för detonation givet starka påkänningar är lika stor som för att en brand sprider sig till lasten i samband med olycka.

Med ovanstående som input beräknas olycksfrekvenser för detonation till följande:

Explosion 60 kg eller lägre	2,4 E-07 per år
Explosion 60-500 kg	1,7 E-07 per år
Explosion 500-1000 kg	4,7 E-08 per år

A.1.2. Olycka involverande brandfarlig gas

Baserat på att farligt godsinventeringen görs här en uppdelning avseende olycka involverande bulktransport av brandfarlig gas respektive transport av tryckkomprimerad gas i växelflak.

A.1.2.1 Olycka involverande bulktransport

För att en olycka med klass 2.1 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren och sedan antändas. För tjockväggiga tankar reduceras värdet för att tank skadas i samband med olycka med en faktor 30 gentemot sannolikheten för att en tunnväggig tank skadas [12].

Ett läckage av brandfarlig gas kan resultera i följande händelseförlopp:

- Omedelbar antändning som ger upphov till pölbrand/jetbrand.
- Uppvärmning av tank eller tankhaveri som leder till BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion.

Fördelning av dessa scenarier varierar ganska kraftigt mellan olika källor. I WUZ [30] relateras till ett antal källor och följande sannolikheter används för de olika händelseförloppen givet olycka och skada på en bulktransport:

- Ingen antändning: 30 %
- Direkt antändning (pölbrand/jetbrand): 19 %
- BLEVE: 1 %
- Fördröjd antändning (gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion): 50 %

Dessa värden bedöms rimliga och tillämpas vidare i denna analys. Enligt VROM [21] kan vidare fördelningen mellan gasmolnsbrand och gasmolnsexplosion givet en fördröjd antändning ansättas till 60/40 %.

Med utgångspunkt i att LNG kan förväntas vara riskstyrande inom gruppen brandfarliga gaser utgår vidare utredningen från att pölbrand kommer uppstå givet en direkt antändning av ett utsläpp. Detta mot bakgrund av att LNG i transporteras nedkyld, ca - 162 °C, i flytande form under atmosfärstryck. För att en farlig jetflamma ska uppstå krävs således att tanken hettas upp så att en tryckuppbyggnad sker och säkerhetsventil öppnas. För att ett sådant förlopp vidare ska utgöra något hot mot omgivningen krävs vidare att tanken har vält i samband med olycka så att säkerhetsventilerna pekar i horisontell riktning mot planerad bebyggelse, i annat fall kommer avluftning ske rakt uppåt i luften utan allvarliga effekter mot människor i omgivningen.

Följande olycksfrekvenser beräknas för de dimensionerande händelseförloppen:

Pölbrand

Sannolikheten för direkt antändning givet utsläpp som föranleder en pölbrand beräknas med följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet direkt antändning	0,3

Sannolikheten för att pölbrand ska uppstå givet en olycka involverande LNG på Essingeleden beräknas till ca 9,5 E-07 per år.

Gasmolnsbrand

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand beräknas med följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,7

Sannolikheten för att en gasmolnsbrand ska uppstå givet en olycka involverande LNG på Essingeleden beräknas till ca 1,8 E-06 per år.

Gasmolnsexplosion

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion beräknas med följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,3

Sannolikheten för att en gasmolnsexplosion ska uppstå givet en olycka involverande LNG på Essingeleden beräknas till ca 7,5 E-07 per år.

BLEVE

Sannolikheten för BLEVE beräknas med hjälp av följande indata.

Andel	
P_u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet BLEVE	0,01

Sannolikheten för att BLEVE uppstår givet en olycka involverande LNG på Essingeleden beräknas till ca 5,0 E-08 per år

A.1.2.2. Olycka involverande växelflak med biogas

Ett läckage av tryckkomprimerad gas kan resultera i följande händelseförlopp:

- Omedelbar antändning som ger upphov till jetbrand.
- Fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand/gasmolnsexplosion.
- Uppvärmning av flak som leder till kärlsprängning.

Det finns olika lösningar på utförande av gasflak. En av de vanligare transportörerna på marknaden är AGA. AGA:s modell bygger på lastväxlarflak. Flaken är fylld med 147 flaskor à 50 liter (geometrisk volym), vilket motsvarar 7,35 m³. Vid ett tryck av 200 bar, kan ca 1900 Nm³ gas lagras per flak, vilket motsvarar ca 1500 kg.

Flaken är konstruerade som ett ramverk av stål och fungerar som påkörningsskydd, se figur 19.



Figur 19. Exempel på gasflak.

Långsidorna är öppna bortsett från några tvärgående balkar, men för att skydda flaskorna ligger dessa ca 25 cm in från flakets långsidor. Gasflaskorna är i sig väldigt robusta mot bakgrund av de höga tryck de är utformade för. För att minimera utsläppt volym gas vid en eventuell olycka eller ett läckage är flaskorna uppdelade i 6 sektioner, vilka sedan är indelade i mindre grupper. Ett maximalt utsläpp till följd av en olycka där en sektion skadas omfattar således 1/6 av befintliga flaskor, vilket motsvarar ca 230 kg biogas. Med hänsyn till den hållfasthet som flaken tillsammans med flaskornas robusta utformning ger upphov till och i brist tillgänglig olycksstatistik tas utgångspunkt i samma indata som nyttjas för bulktransporter.

Jetflamma

Sannolikheten för direkt antändning givet utsläpp som föranleder en jetflamma beräknas med följande indata.

Andel	
P_u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet direkt antändning	0,3

Sannolikheten för att jetflamma ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på Essingeleden beräknas till ca 1,70 E-06 per år.

Gasmolnsbrand

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsbrand beräknas med följande indata.

Andel	
P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,7

Sannolikheten för att en gasmolnsbrand ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på Essingeleden beräknas till ca 2.0 E-06 per år.

Gasmolnsexplosion

Sannolikheten för en fördröjd antändning som ger upphov till en gasmolnsexplosion beräknas med följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet fördröjd antändning	0,5
Sannolikhet gasmolnsbrand	0,3

Sannolikheten för att en gasmolnsexplosion ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på Essingeleden beräknas till ca 8,5 E-07 per år.

Kärlsprängning

Sannolikheten för kärlsprängning beräknas med hjälp av följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
Sannolikhet BLEVE	0,01

Sannolikheten för att kärlsprängning ska uppstå givet en olycka involverande tryckkomprimerad biogas på Essingeleden beräknas till ca 5,7 E-08 per år.

A.1.3. Olycka involverande giftig gas

För att en olycka med giftig gas, klass 2.3 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren. Utifrån de mer preciserade trafikmätningarna tydliggörs att det ämne som transporteras mest frekvent är tryckkondenserad ammoniak, vilket ansätts som dimensionerande. Likt beräkningsgång för tjockväggiga tankar innehållande brandfarlig gas så reduceras värdet för att tank skadas i samband med olycka med en faktor 30 gentemot sannolikheten för att en tunnväggig tank skadas i enlighet med [12].

Sannolikheten för att ett utsläpp av giftig gas ska uppstå på Essingeleden beräknas med följande indata.

P _u (Sannolikhet skada)	0,0019 [12]
------------------------------------	-------------

Olycksfrekvensen beräknas till ca 9,4 E-08 per år.

A.1.4. Olycka involverande brandfarlig vätska

För att en olycka med klass 3 ska leda till konsekvenser för omgivningen krävs att det farliga godset sprids utanför behållaren och sedan antändas. Sannolikheten för antändning av diesel vid en farligt godsolycka på väg är mycket låg på grund av dess höga flampunkt, denna ansätts vanligen till 1 %. En siffra som kan jämföras med den vanligtvis ansatta sannolikheten för antändning av ett bensinläckage, 3,3 % [13]. Konservativt utgår beräkningarna från att alla transporter utgör bensin.

Sannolikheten för pölbrand beräknas med hjälp av följande ekvation och indata.

P_u (Sannolikhet hål i tank)	0,13 [12]
P_A Sannolikhet antändning	0,033

Sannolikheten för att pölbrand uppstår givet en olycka involverande farligt gods klass 3 på Essingeleden beräknas till ca 1,5 E-04 per år.

A.1.5. Olycka involverande oxiderande ämnen och organiska peroxider

Oxiderande ämnen och organiska peroxider utgör normalt ingen fara för omgivningen givet en olycka. Undantaget är om det farliga ämnet i samband med olycka förorenas med ett organiskt ämne såsom exempelvis fordonsbränsle. En sådan blandning kan föranleda explosionsartade förlopp motsvarande detonation av explosivämne, klass 1.1. Frekvensberäkningarna för sådant händelseförlopp tar i denna utredning utgångspunkt i den fördjupade konsekvensanalys som FOI utförde i samband med intunningen av Norra stationsområdet [22]. För de ämnen som efter blandning med fordonsbränsle skulle kunna ge explosiva ämnen är det tre ämnen som helt dominerar mängdmässigt:

- Ammoniumnitrat
- Kalciumnitrat
- Natriumklorat

Det är även dessa ämnen, primärt ammoniumnitrat, som kan förväntas utgöra majoriteten av det totala transportantalet.

Under förutsättning att samtliga transporter (ca 300 st per år) antas kunna föranleda en explosiv blandning kan olycksfrekvensen för detonation beräknas till ca 2,0 E-10 per år.

Följande händelseträdsanalys utförd i referens [22] ligger till grund för beräkningarna:

Brandscenario med klass 5 uppkommer med en frekvens av ca 6×10^{-6} tillfällen per år

Siffran baseras på att det transporteras ca 300 klass 5 transporter per år för det aktuella snittet. Med en sträcka av 1 km och 0,2 bränder per 10 miljoner fordonskilometer kan frekvensen beräknas enligt $300 \times 1,0 \times 0,2 \times 10^{-7} = 6 \times 10^{-6}$ sådana bränder per år.

Typ av last

Här antas att andelen ammoniumperklorat (baserat på vad som används i Sverige enligt ovan) är försumbar och att ämnen som kan detonera efter blandning med diesel är 100 %.

Orsak till brand

Med stöd av ovan antas 2 % av fordonsbränder orsakas av kollision som kan leda till att diesel och fraktat ämne spills ut och att blandning sker.

Eventuellt spill av diesel

Här har inte uppgifter varit tillgängliga vilket gör antagandet mycket osäkert. En rimlig bedömning antas vara att vid brandscenarier orsakade av kollision sker utspillning av 400 liter diesel med andelen 10 %.

Eventuellt spill av last

Här har heller inte uppgifter varit tillgängliga vilket gör antagandet mycket osäkert. En rimlig bedömning antas vara att vid brandscenarier orsakade av kollision sker utspillning av lasten med andelen 10 %.

Eventuell blandning

Åter finns ingen tillgänglig statistik vilket gör antagandet mycket osäkert. Som rimlig bedömning antas att andelen där blandning sker är 50 %.

Andel som detonerar eller eventuellt deflagrerar

Detta är också ett mycket osäkert antagande – här antas att en fullständig detonation av allt som är optimalt blandat (vilket leder till explosioner på i storleksordning motsvarande 1,8 – 4,1 ton trotyl) sker i en tredjedel av fallen.

A.2. Olycka med brandfarlig vätska på Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen

Sannolikheten för pölbrand beräknas med hjälp av följande ekvation och indata.

P_U (Sannolikhet håll i tank)	0,019 [12]
P_A Sannolikhet antändning	0,033

Sannolikheten för att pölbrand uppstår givet en olycka involverande farligt gods klass 3 på Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen fram till infart till Octapharma beräknas till ca 2,7 E-07 per år.

A.3. Olycka med brandfarlig vätska på av/påfartsramper (Kellgrensgatan)

Sannolikheten för pölbrand beräknas med hjälp av följande ekvation och indata.

P_U (Sannolikhet håll i tank)	0,019 [12]
P_A Sannolikhet antändning	0,033

Sannolikheten för att pölbrand uppstår givet en olycka involverande farligt gods klass 3 på av-/påfartsramper (Kellgrensgatan) beräknas till ca 1,7 E-07 per år.

Bilaga B – Konsekvensberäkningar

Följande bilaga omfattar konsekvensberäkningar för utsläpp och spridning av giftiga och brännbara gaser i luft samt pölbrand. Farligt godsolyckor förknippade med risk för explosionsförlopp omfattas ej av föreliggande bilaga, utan dessa konsekvenser redovisas i separat Bilaga C.

Spridningsberäkningar genomförs i beräkningsprogrammet ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres)¹¹.

Viktiga faktorer som är av stor betydelse för hur allvarliga konsekvenserna blir är meteorologiska förhållanden (vindhastighet, atmosfärisk stabilitetsklass, temperatur, solinstrålning, luftfuktighet). För att erhålla konservativa resultat samt minska beräkningsbelastningen utförs simuleringar generellt med en vindhastighet om 3 m/s samt med atmosfärisk stabilitetsklass D (klass E och F inträffar väldigt sällan och endast nattetid, därav anses dessa stabilitetsklasser ej vara relevanta att analysera). Temperaturen ansatt till 15 °C.

I beräkningarna antas det konservativt att utsläppet sker nära vätskeytan då detta leder till de största skadeområdena.

B.1. Olycka med brännbar gas

Konsekvenserna av olyckor med brandfarlig gas utgår från analys av olycka med bulktransport av naturgas (LNG) samt tryckkomprimerad naturgas som transporteras i gasflak.

B.1.2. Olycka med bulktransport (LNG)

Utgångspunkten är att ett transportfordon lastad med 22 ton LNG under atmosfärstryck nedkyld till ca -162 °C skadas i samband med olycka. LNG antas utgöras av 100 % metan.

I fall av ett utsläpp skulle LNG-ångorna spridas med den rådande vinden. Kall LNG-ånga har formen av ett vitt moln. Om små mängder LNG släpps ut, kommer denna till största delen att avdunsta innan den når marken. Vid mer omfattande utsläpp kommer inte avdunstning att ske momentant. Vid större utsläpp kommer en pöl av LNG att bildas från vilken kontinuerlig förångning till atmosfär sker. Ett utsläpp av LNG som förvaras under atmosfärstryck innebär förmildrande konsekvenser vid utsläpp till atmosfären i jämförelse med en olycka involverande bulktransport av tryckkomprimerad brandfarlig gas.

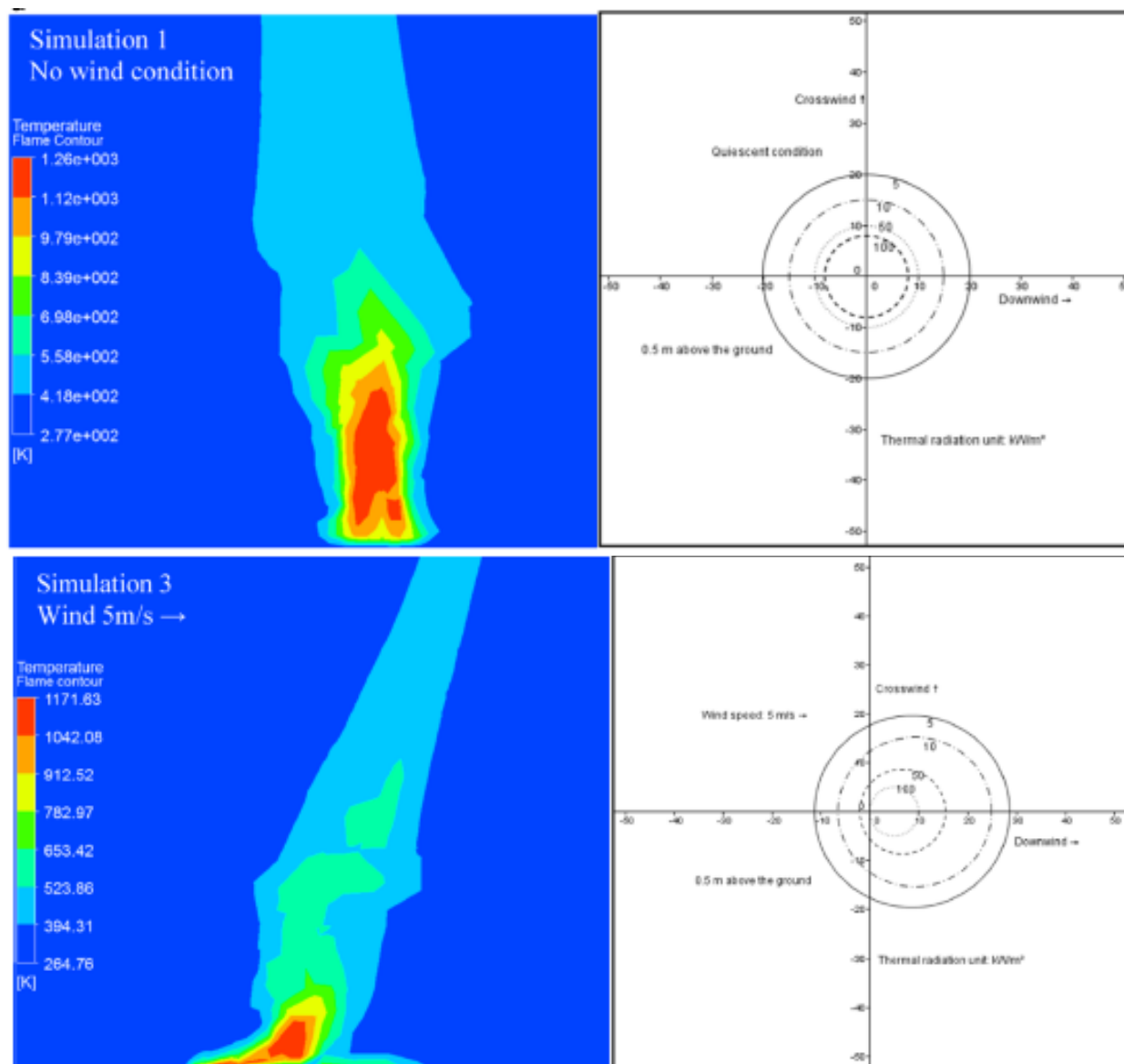
I enlighet med vägledning i [13] analyseras konsekvenserna av två olika starthändelser:

- Katastrofal bristning av tank – utsläpp av hela tankens innehåll inom 1 minut.
 - Antas föranleda BLEVE eller större gasmolnexplosion
- Utsläpp via ett hål om 50 mm i diameter (motsvarande armaturbrott) – utsläppet varaktighet begränsas till 1800 sekunder.
 - Antas föranleda gasmolnsbrand samt pölbrand

pölbrand – Vid utsläpp av LNG som antänds i ett tidigt skede blir följden att en pölbrand bildas. Utsläppssimuleringar utförda i ALHOA av en tank som skadas med ett armaturbrott påvisar att en brinnande pöl med diameter om ca 8 m kan förväntas uppstå. Utgångspunkt för bedömning av skadeeffekterna från en brinnande LNG-pöl tas vidare från en komparativ CFD-analys avseende förväntade strålningsnivåer mot omgivningen för en brinnande LNG-pöl med diameter om 15 m (ca 180 m²) på land där ingångvärden och resultat har verifierats mot fullskaletester [29]. En sådan pölbrand bedöms med avseende på Essingeledens utformning utgöra en form av worst-case scenario.

¹¹ Tillhandahålls av EPA (U.S. Environmental Protection Agency).

Förväntade strålningsnivåer mot omgivningen från en brinnande LNG-pöl med en diameter om 15 m och en synlig flamhöjd om ca 40 meter redovisas i figur 20.



Figur 20. Förväntade strålningsdoser från en brinnande LNG-pöl om 15 m i diameter med och utan hänsyn till vind. Resultaten är hämtade från utförd komparativ CFD-analys där ingångsvärden och resultat har jämförts och verifierats mot fullskaletester [29].

Skadeeffekter

Bedömning av skadeeffekter utgår från bedömningskriterierna åskådliggjorda i avsnitt B.3.1.

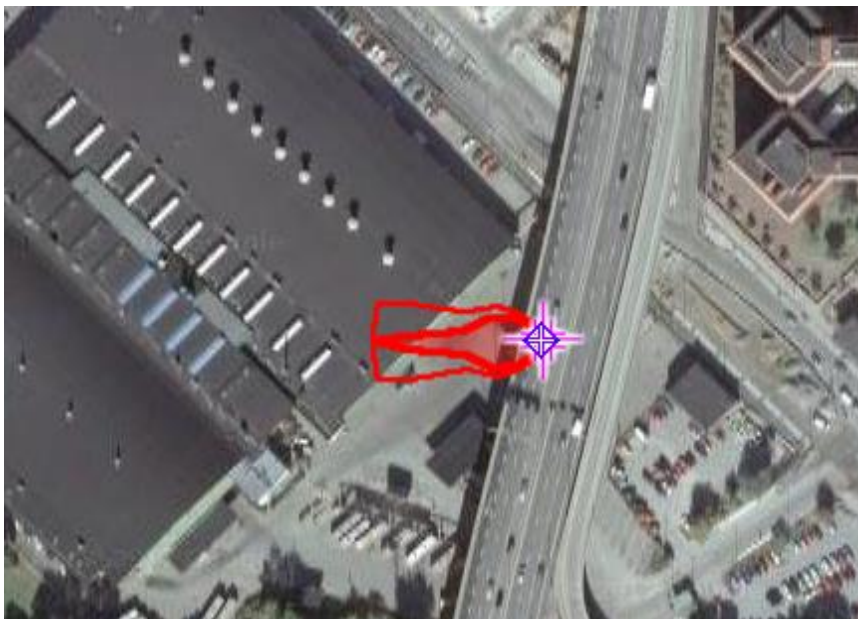
Utifrån åskådliggjorda resultat påvisar att en maximal strålningsnivå om ca 10 kW/m² kan förväntas på ett avstånd om ca 25 meter från pölkanten. Någon risk för brandspridning till närliggande byggnader bedöms således ej föreligga.

Inom ca 15 meter finns en överhängande risk att människor i det fria omkommer av höga strålningsnivåer. Inom ca 30 meter förväntas människor i det fria kunna erhålla 2-gradens brännskador beroende av exponeringstid.

Gasmolnsbrand (löpeld) – Vid utsläpp som inte momentant antänds kommer ett moln av metan (och andra förekommande kolväten) att spridas med vinden, vilket kan antändas var som helst där koncentrationen ligger mellan den undre (Lower Flammable Limit – LFL) och den övre antändningsgränsen (Upper Flammable Limit - UFL). I de flesta fall då ett gasmoln antänds sker detta vid dess kant då det sprids och möter en tändningskälla (t.ex. öppen låga, förbränningsmotor, gnistor). Ett antänt moln kommer att "slå tillbaka" över hela dess antändliga omfång (dvs. alla delar inom det antändliga området mellan UFL och LFL). Det kommer sedan att brinna vid gränsen för UFL tills hela kolvätemolnet har förbränts. Härvid löper elden nästan alltid tillbaka till källan så att pölen antänds.

Zoner med löpeld förflyttar sig med olika hastighet genom antändliga moln. Detta påverkas av faktorer såsom materialets flamhastighet, dess koncentration (snabbast vid stökiometriska koncentrationer, långsammare vid LFL och UFL), temperaturen, kondenserad fukt, graden av turbulens och om denna hindras eller förstärks av omgivande föremål. När löpelden når platsen där LNG-utsläppet fördunstar, antänds vätskan och brinner den som pölbrand [20].

Resultaten från utförda beräkningar ett armaturbrott (hål om 50 mm) som föranleder en kontinuerlig avdunstning från en pöl med LNG påvisar att avståndet till LEL (lägre brännbarhetsgränsen) kan uppgå till ca 60 meter. I figur 21 redogörs för hur gasmolnet kan sprida sig i omgivningen.



Figur 21. Resultat av utförda simuleringar för kontinuerlig avdunstning från en LNG-pöl som ger upphov till ett gasmoln till följd av ett armaturbrott. Röd zon markerar LEL (lägre brännbarhetsgränsen), utbredningen uppgår till ca 60 meter.

Skadeeffekter

Människor i det fria som befinner sig inom/i direkt närhet till gasmolnet givet antändning kan förväntas omkomma till följd av en intensiv värmeexponering. Människor som vistas inomhus bedöms vara skyddade från allvarliga effekter mot bakgrund av att fasaden skyddar dem mot direkt exponering. Eftersom gasmolnet snabbt kan förväntas brinna tillbaka till olycksplatsen givet antändning bedöms inte fasadens integritet påverkas av den kortvariga värmestrålningen. Den väldigt kortvariga strålningsdosen förväntas ej kunna föranleda någon risk för brandspridning via glaspartier in i närliggande byggnader.

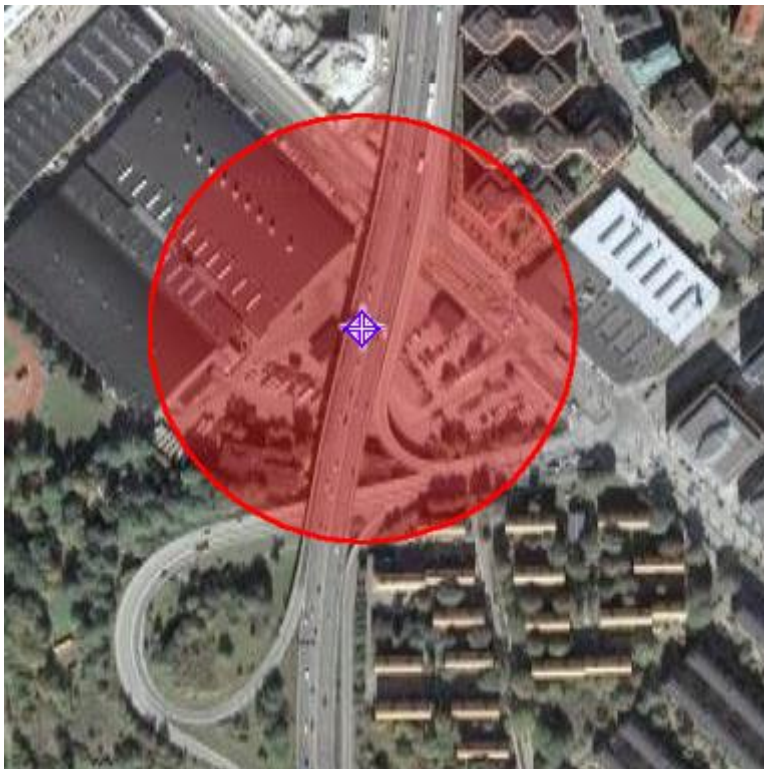
Det bör noteras att spridningssimuleringarna inte tar hänsyn när antändning av gasmolnet kan förväntas inträffa utan dessa återger längsta potentiella utbredning inom brännbarhetsområdet.

Med avseende på att det är fordonen på Essingeleden som utgör de primära tändkällorna i omgivningen är bedömningen att ett gasmoln troligtvis kommer att antändas relativt tidigt in i utsläppsförloppet. Beräkningarna tar heller inte hänsyn till omgivande topografi eller planerade/omgivande bebyggelses inverkan på gasutbredningen. Exempelvis bedöms det som otroligt att ett spridande gasmoln bibehålls intakt inom brännbarhetsområdet förbi första radens planerade byggnader.

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) - Om trafikolyckan leder till en omfattande fordonsbrand eller om jetflamma uppstår initialt vid olycka finns risk för att tanken utsätts för värmepåfrestning, vilket leder till en tryckuppbyggnad inom tanken. Om säkerhetsventilen fallerar eller ej klarar att ta hand om tryckuppbyggnaden finns risk att tanken kollapsar då tankens bristningstryck (vanligtvis 4 x tankens designtryck) uppnås. Vid kollaps av tank bildas en eldfront som mycket snabbt sprids genom hela den antändliga volymen, en så kallad fireball (eldklot). Eftersom ett sådant utsläpp ofta inte har mycket innesluten luft brinner eldkulan över volymens hela utsida, varvid den antändliga massan stiger och avger en kraftig värmestrålning.

Beräkningarna utgår från att (2/3) av tankens totala massa involveras i skadeförloppet, en del av massan kommer att ventileras ut genom säkerhetsventiler innan tanken brister [13]. Påverkan från flygande fragment som uppstår i samband med att tanken kollapsar är svåra att analysera, inga vedertagna beräkningsmodeller för sådan analys finns framtagna. Bedömningen är att sannolikheten att människa skulle omkomma till följd av ett träffas flygande fragment är så pass låg att denna skadeeffekt ej kommer påverka risknivån i relation till effekterna av det eldklot som bildas.

I figur 22 åskådliggörs beräknade effekter från en BLEVE. Dödliga strålningsnivåer påvisas inom en radie om ca 160 meter.



Figur 22. Resultat från simulering av BLEVE, röd zon (D=160) markerar utbredning där direkt dödliga strålningsnivåer för människor utomhus kan förväntas.

Skadeeffekter

Effekterna mot omgivningen kan förväntas bli stora vid en BLEVE. Mot bakgrund av att en BLEVE inte uppstår först efter en längre tid efter att upphettning har påbörjats kan förväntas att majoriteten av människorna i omgivningen hinner försätta sig i säkerhet. Människor inomhus kan förväntas vara relativt väl skyddade mot en BLEVE så länge fasaden hålls intakt, d.v.s. eldklotet inte tar sig in i byggnaden. Detta har tydliggjorts utifrån skadeutredningar av tidigare inträffade olyckor där bebyggda områden har påverkats av en BLEVE [27, 28].

B.1.3. Olycka med gasflak

Gasflaskorna är försedda med ventiler, normalt alltid öppna, som är sammanbundna med ett ledningssystem vilket är indelat i 6 sektioner. Går exempelvis en ledning sönder får detta till följd att hela sektionen töms, vilket innebär ett utsläpp av 317 m³ eller 230 kg biogas. Eventuella övertryckseffekter som potentiellt kan uppstå i samband med en olycka involverande ett gasflak bedöms täckas in de explosionsförlopp som har analyserats i den fördjupade konsekvensutredningen som ligger till grund för utformning av skyddsåtgärder mot explosionsförlopp.

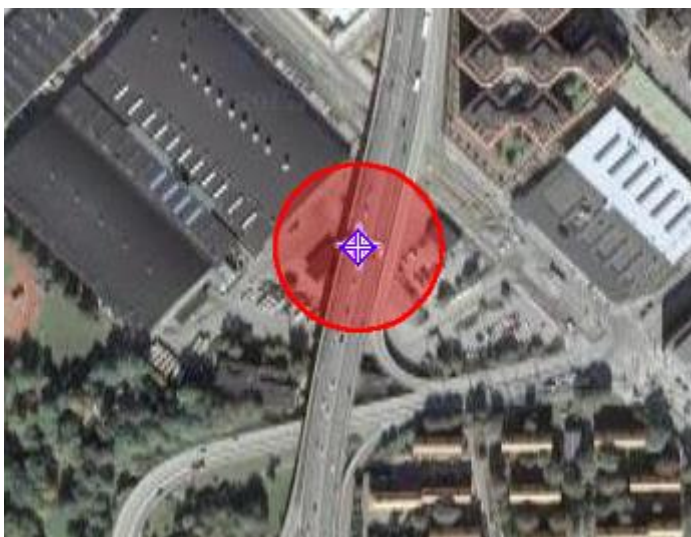
Då rördimensionen på det ledningssystemet som sammanbinder gasflaskorna inom en sektion uppgår till 16 mm antas dimensionerande hålstorlek till 16 mm d.v.s. ett totalt rörbrott på de rör som kopplar samman flaskorna inom en sektion. Trycket antas till 250 bar.

Beräkningar för utsläpp av 230 kg tryckkomprimerad biogas från ett hål om 16 mm där fördröjd antändning antas påvisar att avståndet till LEL kan förväntas understiga 15 meter.

Beräkningar för utsläpp av 230 kg tryckkomprimerad biogas från ett hål om 16 mm där antändning sker direkt och en jetflamma uppstår påvisar att avståndet till direkt dödliga strålningsnivåer en jetflamma om ca 10 meter.

Vid upphettning av ett gasflak finns risk för kärlsprängning. Detta kan uppstå som en sekundär konsekvens av ovan belysta skadescenarier. Det saknas vedertagna beräkningsmodeller för beräkning av kärlsprängning av ett gasflak. Troligtvis kommer inte samtliga gasflaskor brista momentant (på samma tidpunkt) utan olycksförloppet kommer karakteriseras av flera explosioner, där utkast av mycket mindre material i höga hastigheter kan förväntas påverka omgivningen. Förenklad antas upphettning av ett gasflak som föranleder kärlsprängning karakteriseras av ett eldklot som involverar 50 % av gasflakets totala mängd, d.v.s. ca 700 kg gas.

Beräkningarna påvisar ett eldklot med diameter om ca 50 meter. Avstånd till dödliga strålningsnivåer för människor i det fria uppgår till ca 70 meter, i figur 23 presenteras skadezon för studerat område.



Figur 23. Resultat från simulering av kärlsprängning av gasflak, röd zon (D=70) markerar utbredning där direkt dödliga strålningsnivåer för människor utomhus kan förväntas.

Skadeeffekter

Med avseende på tiden det tar för att upphettning av ett gasflak ska innebära risk för kärlsprängning bedöms majoriteten av människorna i omgivning kunna försätta sig i säkerhet. Människor inomhus bedöms vara relativt väl skyddade mot strålningseffekterna i enlighet med tidigare resonemang. Dock kan skadeverkan i form av utslungade metalledar vara omfattande och kan därmed komma att förolyckas enstaka människor som träffas av ett flygande fragment.

En gasmolnsbrand eller jetflamma bedöms mot de korta konsekvensavstånden utgöra ett litet hot mot människor i omgivningen.

B.2. Utsläpp av giftig gas

Den icke brännbara men giftiga gasen antas bestå av tryckkondenserad ammoniak, som är en av de giftigaste gaserna som transporteras i större tankar på vägarna i Sverige.

Indata

Utsläppssimuleringarna har utförts för tankbil rymmandes ca 24 ton ammoniak.

Indata för simulering av skadeområden återges nedan.

<i>Faktor</i>	<i>Tankbil</i>
Kemikalie	Ammoniak
Emballage	Tankbil (24 ton)
Bebyggelse	Tät skog/ stad ($\rho = 1,0$)
Lagringstemperatur	15°C
Väder	15°C, vår, dag och klart
Atmosfärisk stabilitetsklass	D

I enlighet med vägledning kring farliga koncentrationer återgivna i FOA rapport *Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor* [23] beräknas konsekvenszoner för följande koncentrationer:

- 12 352 mg/m³ risk för dödsfall vid exponering längre än 5 minuter
- 495 mg/m³ risk för akut vårdbehov vid exponering längre än 5 minuter

Följande utsläppsscenarioer simuleras i enlighet med den vägledning som ges i referens [13]:

- Medelstort utsläpp (brott på rör) 4,6 kg/s
- Hela tankens innehåll töms inom 10 minuter (t.ex. punktering) 40 kg/s

Sannolikhetsfördelning mellan ett de olika uppkomna skadescenarierna görs med hänsyn till rådande trafikala förutsättningar som innebär att det är osannolikt att en olycka föräns av en våldsam kollision som ger upphov till en punktering. En sannolikhetsfördelning om 90/10 % bedöms som rimligt.

Gasers spridning beror bland annat på vindstyrka, topografi och bebyggelse samt tid på dygnet. Beräkningsprogrammet beaktar inte aktuella omgivningsförutsättningar utan spridningssimuleringar görs för ett utsläpp på en öppen yta.

Beräknade skadezoner åskådliggörs i figur 24 och 25.



Figur 24. Resultat från utförda spridningsberäkningar av ett utsläpp av tryckkondenserad ammoniak, brott på rör (medelstort utsläpp). Röd zon (10 x 60 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan omkomma medan orange zon (40 x 300 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan förväntas behöva akut vård.

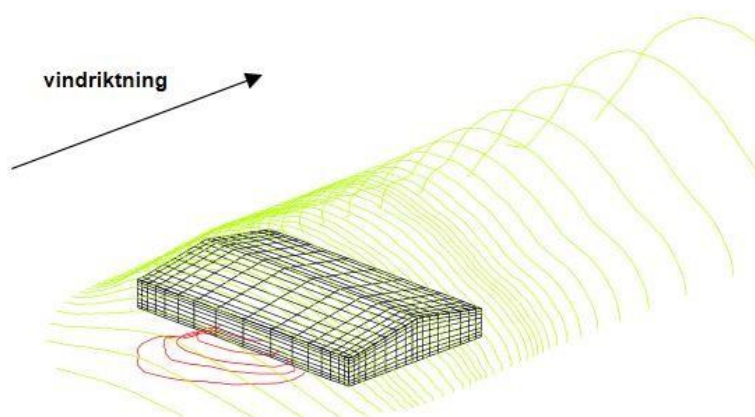


Figur 25. Resultat från utförda spridningsberäkningar av ett utsläpp av tryckkondenserad ammoniak, utsläpp av hela tankens innehåll inom 10 min (mycket stort utsläpp). Röd zon (27 x 179 m) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan omkomma medan orange zon (128 x 953) åskådliggör ytor utomhus där människor efter 5 minuters exponering kan förväntas behöva akut vård.

Skadeeffekter

Åskådliggjorda resultat påvisar att människor utomhus som ej hinner försätta sig i säkerhet tillräckligt snabbt kan förväntas förolyckas på stora avstånd från olycksplatsen. Majoriteten av människorna utomhus inom röd zon förväntas omkomma medan majoriteten av människorna inom orange zon kan förväntas försätta sig i säkerhet. Människor inomhus kan förväntas vara relativt säkra, men konsekvenserna styrs av placering av luftintag samt den luftomsättningen som byggnadens ventilationssystem kan förväntas ge upphov till.

Det bör noteras att spridningsberäkningarna inte tar någon hänsyn till omgivande topografi eller planerade/omgivande bebyggelses inverkan på lufrörelserna i omgivningen. Den skapade turbulensen som den täta bebyggelsen i enlighet med planförslaget kan förväntas medföra innebär en i praktiken snabbare utspädning av gasen, varför skadeområdet blir mindre än i ett fall med utsläpp i öppet likt åskådliggjorda skadezoner ovan. Se exempel på förväntad skadereduktion i figur 26.



Figur 26. Exemplifierande av hur den skapade turbulensen mot huset medför en snabbare utspädning av gasen, varför skadeområdet i verkligheten blir mindre än i ett fall med utsläpp i öppet fält. Bild hämtad från FOA rapport Hur farlig är en ishall med ammoniak? Beräkningar av riskavstånd vid vådautsläpp av ammoniak samt hur stora byggnader påverkar spridningen av gaser

Med stor sannolikhet kommer strukturen i enlighet med planförslaget ge upphov till luftföroreningar som innebär att ej dödliga gaskoncentrationer uppnås bakom första radens planerade byggnader.

Vid en punktering som innebär att hela tankens innehåll släpps utom 10 minuter bedöms inte räddningstjänsten kunna göra några skadebegränsande åtgärder. Vid ett armaturbrott bedöms räddningstjänsten ha möjlighet att täta uppkommen skada innan hela tankens innehåll har släppts ut. Vid bedömning av samhällsrisk tas ingen hänsyn till räddningstjänstens skadebegränsande möjligheter.

B.3. Utsläpp och antändning av brandfarliga vätskor

Ett utsläpp som inte antänds har främst en påverkan på miljön, skadliga konsekvenser för människor uppstår om vätskan antänds och bildar en pölbrand. Själva tankbilen kan också brinna, men detta innebär en lägre brinnande yta och därmed mindre utsänd strålning, en sådan brand kan antas karakteriseras av effekter motsvarande en mindre pölbrand. Vid olycka med brännbar vätska föreligger generellt ingen risk för övertryckseffekter, men under vissa speciella förhållande kan explosionsartade skadescenarier även uppstå (T.ex. vid extrem kollision där hela lasten involveras i olyckan eller vid extrem upphettning av tank). Eventuella övertryckseffekter som potentiellt kan uppstå vid olycka med brandfarlig vätska behandlas i den fördjupade konsekvensutredningen vad gäller explosionsförlopp, se bilaga C.

B.3.1. Bedömnings-/acceptanskriterier

Med utgångspunkt i kriterier enligt BBRAD görs tolkningen att det inte föreligger någon brandspridningsrisk till närliggande byggnad om följande kan påvisas:

- För att förhindra brandspridning in i aktuell byggnad skall strålningsnivåer på den sida av fönster som ej vetter mot branden, dvs. på insidan, ej överstiga 15 kW/m².

Gällande människor i det fria kan dessa med stor sannolikhet förväntas hinna fly från närområdet från branden utan exponering av direkt farliga/dödliga strålningsdoser. Människor i det fria kan förväntas omkomma om de utsätts för en kortvarig strålningsnivå 35 kW/m² [13].

B.3.2. Dimensionerande scenario

Det finns i princip två typer av utläckage, ett momentant spill där stora mängder bränsle frigörs ner på vägbanan (t.ex. tankbil som välter och topplocket öppnas) eller ett kontinuerligt utflöde från ett läckande fordon eller tank (ventil som går sönder eller ett hål i tanken). Pölutbredning är vidare beroende av vägbanans bredd och lutning samt vägbanans ytbeskaffenhet och brons uppsamlingssystem för att hantera dagvatten. Aktuell vägutformning av Essingeleden inom studerat område åskådliggörs i figur 27. Med hänsyn till brons avåkningsskydd utgår beräkningarna från att fordonet blir kvar på körbanan givet en olycka.



Figur 27. Bredd på Essingeledens huvudkörbanor inom aktuellt område.

Dimensionerande brandscenario antas till en cirkulär pöl med diameter 11 m, vilket motsvarar en area på ca 100 m². Detta scenario motsvarar att ett fack på en tankbil, som vanligtvis innehåller ca 4-5 m³ bensin, totalskadas vilket föranleder att allt innehåll läcker ut i samband med olycka. Med hänsyn till att vägbredden uppgår till maximalt ca 13 meter anses scenariot vara representativt i och med att körbredden.

Avståndet mellan det antagna läget för pölen på vägbanan och fasad kommer att varieras i beräkningarna.

Som känslighetsanalys görs en jämförelse med effekterna från uppmätta strålningsdoser från stora pölbränder med etanol, vilket utgör en större fara för omgivningen.

Det går naturligtvis inte att helt undanröja sannolikheten för att vältande tankbil föranleder ett utsläpp som rinner ner från bron, även om ett sådant scenario bedöms vara osannolikt med avseende på körbanans utformning. Det är vidare ytterst svårt att försöka återge hur pölutbredningen från ett sådant scenario skulle karakteriseras, men troligtvis kan antändning förutsättas ske momentant utan att någon större pöl hinner ansamlas på marken nedanför. Det är således inte klart att ett sådant scenario innebär en större fara för omgivningen (förutom enskilda människor i det fria längs med Lindhagensgatan som skulle kunna bli direkt påverkade). Mot bakgrund av detta görs ingen närmare analys av ett sådant scenario, utan känslighetsanalysen bedöms säkerställa en erforderlig konservatism.

B.3.3. Utgående strålningseffekt

Förbränning i stora pölbränder sker med underskott av syre, vilket medför en stor sotproduktion som i tur fångar upp en betydande del av den emitterande strålningen samt minskar temperaturen i flamzonen. Detta innebär att den emitterade strålningen avtar med en ökande pöldiameter. I litteratur, finns flera matematiska uttryck som beskriver hur utstrålningsintensiteten (I_0) varierar som funktion av brandens diameter (D). Ett vanligt använt samband återfinns i [14] och är som följer:

$$I_0 = 58 \cdot 10^{-0.00823D}$$

Sambandet påvisar en maximal utsänd strålning på 58 kW/m² som avtar med en ökande pöldiameter.

I de fullskaleförsök som gjordes vid FOI [15] påvisas en pöl med diameter på ca 10 meter emitterar ca 60 kW/m². Detta värde motsvarar en effektiv strålningstemperatur på ca 750 °C, vilket är att betrakta som en förhållandevis hög temperatur för att gälla över hela den strålande ytan.

I försök med mindre pölbränder (diameter på 2-3 meter) uppmättes strålningen till ca 130 kW/m². Den emitterade strålningen från mindre pölbränder blir dock förhållandevis liten, med hänsyn till den betydligt mindre synfaktor som erhålls i beräkningar. Således är det inte av intresse att analysera mindre pölbränder.

I de strålningsberäkningar som redovisas kommer värdet 60 kW/m² att användas som dimensionerande avgiven strålningseffekt.

Synfaktor (Φ)

För att beräkna den infallande strålningen på studerad fasad behöver brandens emitterade strålningseffekt bestämmas samt hur stor del av den utsända strålningen som träffar byggnaden, dvs. beräkning av den så kallade synfaktorn.

Synfaktorn bestäms genom att branden approximeras till en rektangulär strålande yta. Rektangelns bred bestäms utifrån pölens diameter och beräknas med följande uttryck:

$$D = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}}$$

Där A_f är den brinnande ytan och utgörs av pölstorleken.

Rektangelns höjd bestäms utifrån flamhöjden och beräknas med följande uttryck:

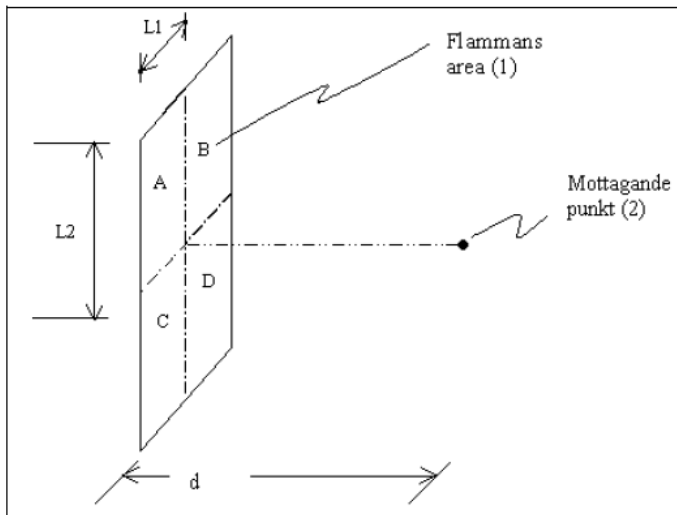
$$H_f = 0.23 \cdot \dot{Q}^{2/5} - 1.02D$$

Där brandeffekten (\dot{Q}) bestäms utifrån följande uttryck:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot \Delta H_c \cdot A_f$$

För bensin är förbränningshastighet (\dot{m}'') 0.055 kg/m²s, förbränningsvärme (ΔH_c) 43.7 MJ/kg och förbränningseffektiviteten (χ) 0.7 [16].

Den maximala synfaktorn erhålls genom att dela den rektangel som representerar den fritt brinnande branden på mitten, både horisontellt och vertikalt, vilket ger fyra likadana mindre rektanglar. Den totala synfaktorn erhålls från summan av de fyra ytorna. Infallande strålning mot fasaden beräknas vid punkten vinkelrätt mot flammans centrum, i enlighet med figur 28.



Figur 28. Synfaktor

Synfaktorer beräknas enligt ekvationer i The SFPE Handbook [16].

B.3.4. Beräkningsresultat

Den infallande strålningsintensiteten mot fasad (\dot{q}''_{max}) beräknas med följande uttryck, enligt [17]:

$$\dot{q}''_{max} = \dot{q}''_{brand} \cdot \Phi$$

Där \dot{q}''_{brand} är den emitterade strålningseffekten (kW/m²) från branden och Φ är den maximala synfaktorn.

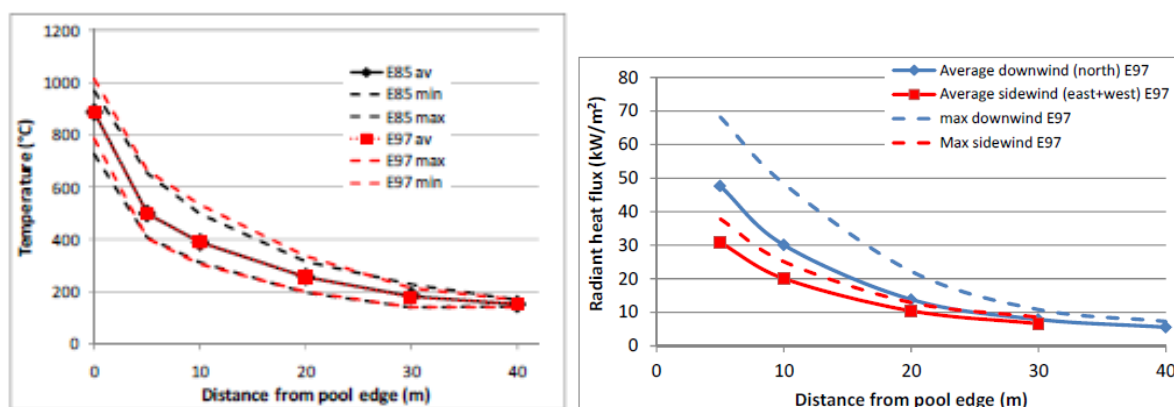
Infallande strålningsintensitet på olika avstånd till branden presenteras i nedan.

Pölstorlek om 100 m², $H_f = 16.8$ m och $D = 11.3$ m

Avstånd till brand	Infallande strålning [kW/m ²] givet E = 60 kW/m²
10	22,04
15	12,53
20	7,84
25	5,29
30	4,30
35	3,79
40	2,84

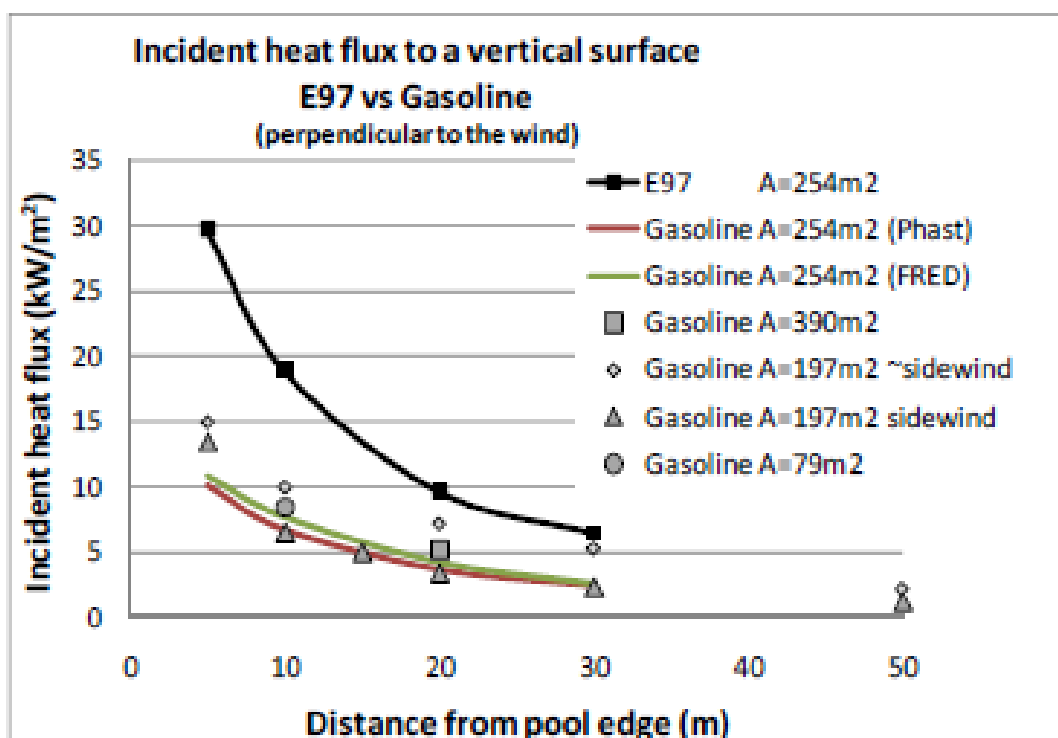
B.3.5. Känslighetsanalys

Som känslighetsanalys görs en jämförelse med erhållna resultat från de fullskaleförsök med stora pölbränder av etanol (E97 & E85), vilka SP genomfört under 2015 [24]. Fullskaleförsöken tog utgångspunkt i en stor öppen pölbrand om 254 m². Resultaten från försöken åskådliggörs i figur 29 där maxvärden indikerar uppmätta värden i vindriktningen.



Figur 29. Resultat från genomförda fullskaleförsök av stor pölbrand med etanol [24].

Rapporten innefattar även en jämförelse av förväntade effekter från en pölbrand med bensin. Jämförelsen grundar sig på vedertagna beräkningsmodeller av stora pölbränder med bensin. Resultaten från jämförelsen åskådliggörs i figur 30.



Figur 30. Resultat från genomförd jämförelseanalys av strålningseffekter mellan uppmätta strålningsnivåer för pölbrand med etanol och bensin [24].

Skadeeffekter

För det dimensionerande scenariot (pölstorlek om 100 m²) påvisar beräkningarna att strålningsnivåerna på 25 meters avstånd kan förväntas uppgå till ca 5 kW/m². Utförd känslighetsanalys påvisar vidare att resultaten är okänslig mot antagande av pölstorlek samt typ av brandfarlig vätska. Även vid större pölbränder med bensin samt vid en stor pölbrand med etanol (254 m²) som utgör det värsta tänkbara scenariot kan ett skyddsavstånd om 25 meter förväntas säkerställa att brandspridning in i byggnaden ej uppkommer.

Resultaten indikerar även att människor i det fria, inom 25 kan erhålla 2-gradens brännskador medan de har goda möjligheter att hinna sätta sig i säkerhet innan exponering av dödliga strålningsdoser.

Resultaten indikerar vidare att det är osannolikt att en större pölbrand som uppstår på av-/påfartsramp till Essingeleden föranleder brandspridning in i närliggande byggnader som planeras på 15 meters avstånd medan risken för brandspridning till lokaler innanför fasader mot Lindhagensgatan/Nordenflychtsvägen ej kan avskrivas.

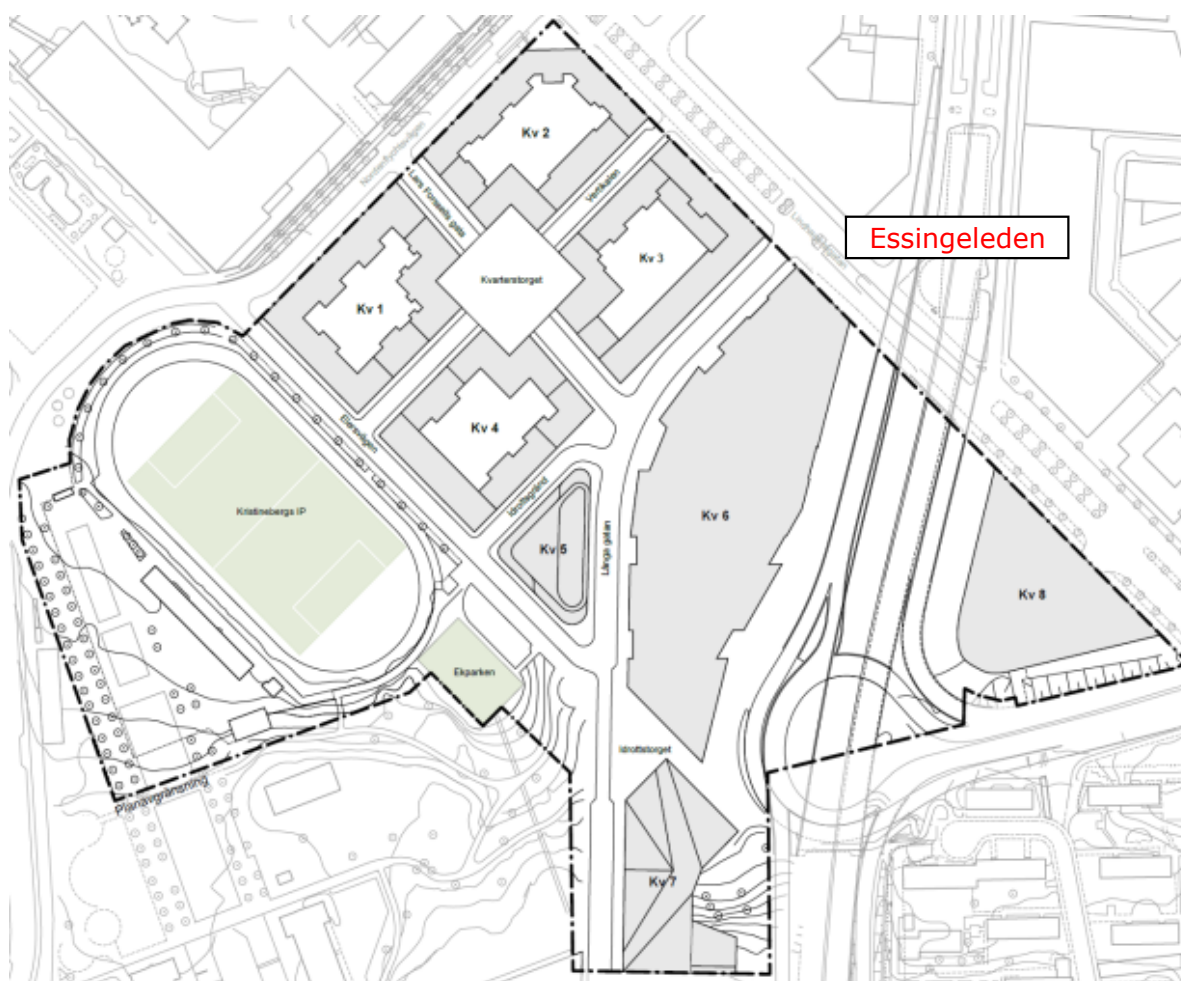
Bilaga C – Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp

C.1. Bakgrund

Analys av explosionsförlopp inom tätbebyggda områden är ytterst komplex och är förknippat med stora osäkerheter. För att minimera osäkerheterna i föreliggande riskutredning som utgör beslutsunderlag inför beslutsfattande om planerad markanvändningen är lämplig avseende människors hälsa har föreliggande fördjupade konsekvensanalys tagits fram. Analysen är framtagen av explosions/konstruktionsexpert Morgan Johansson som underkonsult till Projektstaben.

C.1.1. Studerat område

Studerat område ligger på Nordvästra Kungsholmen i Stockholm, se figur 31. I området närmast Essingeleden (Kv 6 till Kv 8) ska dels uppföras kontorslokaler och dels en hallbyggnad för idrottsaktiviteter. Dessa byggnader befinner sig på ett varierande avstånd från Essingeleden, dock med ett minsta avstånd om 25 m från huvudkörbanornas välgkant. Bakomliggande bostadskvarter ligger på avstånd överstigande 80 m från Essingeleden.



Figur 31. Studerat område i Nordvästra Kungsholmen i Stockholm.

C.2. Vad som ska beaktas

För att minimera osäkerheterna förknippade med analys av explosionsförlopp behöver konsekvenserna av identifierade olyckshändelser enligt nedan analyseras via fördjupad analys.

- Gasmolnsexplosion till följd av olycka involverande klass 2 (naturgas).
- Detonation till följd av olycka involverande klass 1 (massexplosiva sprängämnen).

Bakgrunden till urvalet av analyserade olyckshändelser utgår från att dessa kan förväntas ha en betydande påverkan på samhällsrisknivåerna längs med Essingeleden, primärt indikerar ökning av gastransporter att samhället behöver utformas med hänsyn till dessa olycksförlopp för att säkerställa godtagbara samhällsrisknivåer.

En fördjupad utredning krävs därför för att fastställa ett tillfredställande skyddskoncept för skydda människor inomhus. Föreliggande utredning syftar till att säkerställa att tillkommande bebyggelse och markanvändning utförs på ett sådant sätt att exploateringen inte föranleder en oacceptabel riskförändring med hänsyn till potentiell skadeomfattning i samband med en explosion på Essingeleden.

C.3. Skyddsprinciper

C.3.1. Orientering

För att skydda sig mot en explosion finns det primärt två saker som har stor inverkan: avstånd och en skyddande massa. I det fria kommer explosionens energiinnehåll snabbt tunnas ut, varför lasteffekten av en given explosion också snabbt avtar med avståndet. Om det inte är möjligt att säkerställa ett tillräckligt avstånd till en explosion är en avskärmande massa dock ett effektivt skydd. Explosionen verkar som en impulsbelastning på sin omgivning och en massa som är placerad i dess väg – exempelvis en betongvägg – kommer att absorbera denna impuls och sättas i rörelse av densamma. En stor massa gör att det uppkomna rörelsebehovet minskar, vilket i sin tur leder till en lägre rörelseenergi hos det aktuella hindret. En stor massa kan därför sägas vara ett effektivt sätt att dämpa effekten av en impulsbelastning.

En skyddande vägg är dock till liten hjälp om den själv kastas iväg av den rörelse den erhåller. Det är därför väsentligt att konstruktionen även kan uppvisa en god energiupptagningsförmåga som förhindrar att så sker. Genom att säkerställa att väggen har en bra deformationsförmåga får en seg konstruktion som ger goda möjligheter att motstå den rörelseenergi som genereras av explosionen.

En seg respons hos en belastad konstruktion säkerställer en effektiv energiupptagande förmåga med möjlighet till kraftomlagringar så att ett lokalt brott inte leder till total kollaps. Denna devis gäller i de flesta strukturella sammanhang men är särskilt viktigt i samband med exceptionella dynamiska pålastningar såsom vid en explosion. I en impulsbelastad konstruktion är det dock inte dess maximala statiska lastkapacitet som är av primärt intresse – denna påkänning uppnås normalt i vilket fall som helst. Istället är det konstruktionens energiupptagande förmåga, dvs. dess deformationsförmåga i kombination med aktuell lastkapacitet, som blir viktig för att bedöma dess lämplighet som skydd.

C.3.2. Skyddsavstånd

Det effektivaste sättet att skydda sig mot en explosion är att inte vara där när explosionen inträffar, dvs. att ha ett stort avstånd till explosionskällan. Detta kan synas självklart men kan ändå vara värt att poängtera. I en tät stadsmiljö kan det dock ofta vara svårt att säkerställa tillräckliga skyddsavstånd mellan potentiell lastkälla och övrig bebyggelse. Denna problematik framgår särskilt tydligt när delar av bebyggelsen redan är byggd och ny bebyggelse ska uppföras i dess närhet.

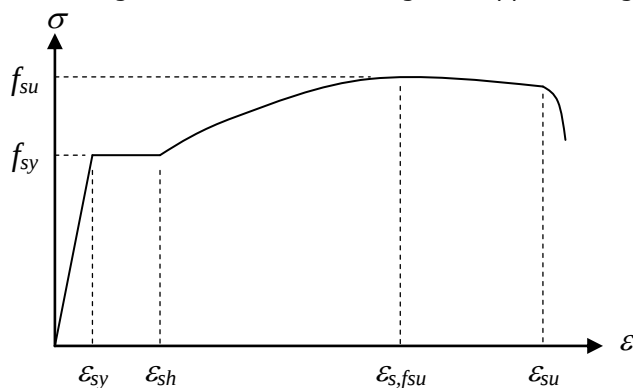
C.3.3. Säkerställande av en god deformationsförmåga

C.3.3.1. Orientering

För att säkerställa en god deformationsförmåga, och därmed en god energiupptagningsförmåga, i en armerad betongkonstruktion är det av största vikt att använda en armering med goda seghetsegenskaper. Ett flertal olika tankar kring detta behandlas i exempelvis Johansson och Laine (2012) och i avsnitt nedan ges en sammanställning av dessa.

C.3.3.2. Krav på armering

En armerad betongkonstruktion kan betraktas som en komposit bestående av betong och armering. Betong är bra på att ta tryck och armering bra på att ta drag, vilket gör att en väl fungerande kraftjämvikt kan uppstå som gör att yttre laster kan bäras effektivt. Segheten hos en sådan komposit beror på de ingående materialens egenskaper. I jämförelse med stål är betong dock ett sprött material varför en betongkonstruktions förmåga att uppvisa en seg respons till stor del beror på armeringens egenskaper. Dvs. de mekaniska egenskaperna hos den ingående armeringen, schematiskt illustrerad i form av en arbetskurva i figur 32, har en avgörande betydelse för betongkonstruktionens förmåga att uppvisa en god deformationsförmåga.



Figur 32. Schematisk figur av armeringens arbetskurva definierande flytspänning f_{sy} , brottspänning f_{su} samt flyttöjning ϵ_{sy} , töjning vid hårdnande ϵ_{sh} och brottöjning $\epsilon_{s,f_{su}}$.

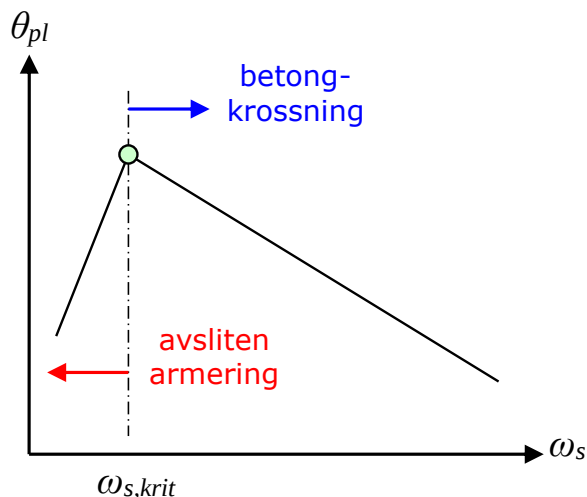
Viktiga förutsättning för att uppnå en god deformationsförmåga i en armerad betongkonstruktion är att armeringens arbetskurva uppvisar en flytplatå, har en hög seghetskvot

$$\gamma = \frac{f_{su}}{f_{sy}}$$

mellan armeringens brottspänning f_{su} och flytspänning f_{sy} samt har en hög brottöjning $\epsilon_{s,f_{su}}$. Utgående från den armering som används i Sverige idag uppfylls dessa krav bäst av den armering som i Eurokod 2, SIS (2008a), benämns som klass C. Denna armeringstyp är därför den som genomgående bör användas för konstruktioner som bedöms kunna bli utsatta för direkta eller indirekta effekter av en explosionslast. Det finns i Eurokod 2 även en armering benämnd klass B som också uppfyller krav på flytplatå men med lägre värden på seghetskvot och brottöjning. Denna armeringstyp resulterar dock i en deformationsförmåga som är storleken 2-3 gånger lägre och bör därför undvikas i impulsbelastade konstruktioner. Förspända betongkonstruktioner (armering klass A) har enligt Eurokod 2 ingen möjlighet att utnyttja global plastisk omlagring och är därför i många sammanhang direkt olämpliga att använda om dimensionering ska göras gentemot explosionslast.

C.3.3.3. Armeringsutformning

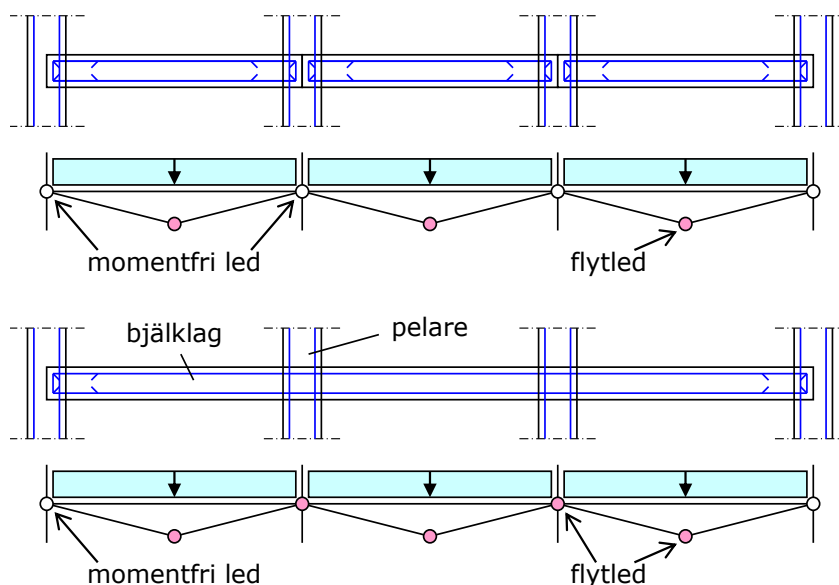
Allmänt gäller att små armeringsmängder i en betongkonstruktion resulterar i bättre deformationsförmåga än stora armeringsmängder. Detta förutsätter dock att brott inte erhålls i armeringen – slits denna av minskar rotationskapaciteten, och därmed deformationsförmågan, drastiskt – utan att det är den tryckta betongen som utgör tvärsnittets svaga punkt, se schematisk illustration i figur 33. Så är också ofta fallet men avvikelser kan uppstå vid kombination av låga armeringsmängder, låg flytgräns hos armeringen och/eller hög tryckhållfasthet hos betongen. Vid användande av armering K500C ($f_{yk} = 500$ MPa) fås optimal böjarmeringsmängd, med hänsyn till deformationsförmågan, om den uppgår till cirka 0,3 % för betong C 30/37 och 0,4 % för betong C 40/50.



Figur 33. Schematisk illustration av tillåten plastisk rotationsförmåga θ_{pl} som funktion av den mekaniska armeringskvoten ω_s samt effekt av olika brottkriterier.

C.3.3.4. Kontinuitet hos byggnadsdelar

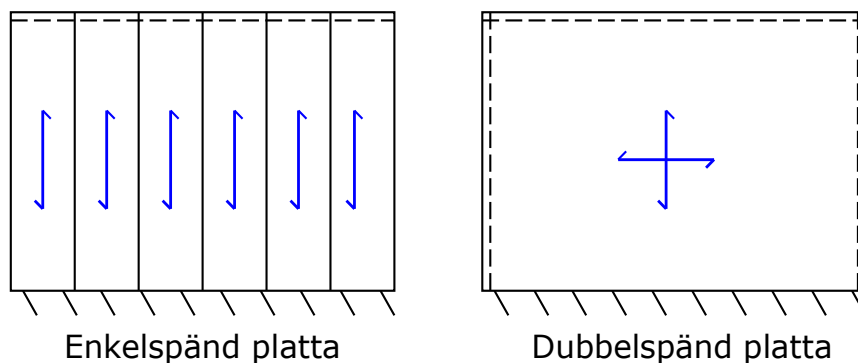
Genom att utföra väggar och bjälklag med momentinspända kopplingar, såsom schematiskt visas i figur 34, säkerställs en ökad motståndsförmåga mot explosionslast hos en byggnad. En kontinuerlig dragen armering genom bjälklagen resulterar i en ökad möjlighet till kraftomlagring i konstruktionen eftersom det då kan uppstå fler flytleder än vad som är fallet när bjälklaget enbart läggs upp på respektive upplag. Vidare ges möjlighet att så kallad lin- och membranverkan kan uppstå i bjälklaget, något som är väldigt gynnsamt för bjälklagets energiupptagningsförmåga. Denna devis innebär även att platsgjutna betongstommar, vilka normalt har en större andel kontinuerliga bjälklag, i regel är mer lämpade utformade att motstå explosionslasten än byggnader uppförda med prefabricerade betongelement.



Figur 34. Schematisk bild av bjälklag med enskild respektive kontinuerlig uppläggning av balk.

C.3.3.5. Redundans – flerfaldiga byggnadssystem

För en byggnad är det ofta viktigt att det finns en inbyggd redundans, dvs. en robusthet som finns att tillgå om behov uppstår. Detta är inte nödvändigtvis en kapacitet som ökar byggnadens eller byggnadsdelens funktionalitet i övrigt utan snarare en reservkapacitet som kan tas i anspråk vid exceptionella tillfällen om någon annan del i det bärande systemet fallerar. Användandet av kraftomlagring via flytleder kan betraktas som en variant av en sådan redundans för en enskild byggnadsdel eller förmågan hos ett bjälklag att bära i två riktningar istället för i enbart en riktning, se figur 35.



Figur 35. Bjälklag med bäring i en respektive två riktningar. Bäring i två riktningar ökar bjälklagets redundans.

Med begreppet redundans åsyftas här dock inte primärt bärförmågan hos en lokal konstruktionsdel utan snarare på stabiliteten hos hela byggnaden. Dvs. det bärande globala stomsystemet ska med det här synsättet inte vara avhängigt ett fåtal kritiska delar utan det bör finnas en sådan robusthet i utformningen av denna att ett fortskridande ras kan förhindras även om lokala brott uppstår. Ett exempel på ett sådant redundant system kan vara att det i en byggnad bör finnas en sådan mängd bärande väggar och pelare att det är möjligt att en eller flera av dessa slås ut utan att total kollaps erhålls. Vid normalt byggande beaktas detta exempelvis via beaktande av en avslagen pelare. Alternativet är att dimensionera pelaren för att tåla en tillräckligt hög last, något som i explosionshänseende kan vara mycket besvärligt att uppnå. Detta innebär också att byggnader som är starkt beroende av en eller några få bärande delar kan bli känsligare för extrema laster eftersom en betydande del av dess bärförmåga är beroende av dessa.

C.3.3.6. Stål och trä som konstruktionsmaterial

I en stålkonstruktion kan tvärsnitten hos ingående konstruktionsdelar enligt Eurokod 3, SIS (2008b), delas in i klass 1 till 4. Av dessa kan dock enbart tvärsnitt i klass 1 uppvisa en global plastisk omlagringsförmåga i konstruktionsdelen medan tvärsnitt i övriga klasser medför en eller annan begränsning med detta. Detta innebär att det krävs tvärsnitt av klass 1 för att möjliggöra en god deformationsförmåga hos en stålkonstruktion. En konstruktion med tvärsnitt i klass 2 till 4 antas uppvisa en global elastisk respons och är därför olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.

För träkonstruktioner tillgodoräknas ingen plastisk omlagringsförmåga och en sådan konstruktion antas därför alltid uppvisa en elastisk respons. Av denna anledning blir därför också träkonstruktioner olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.

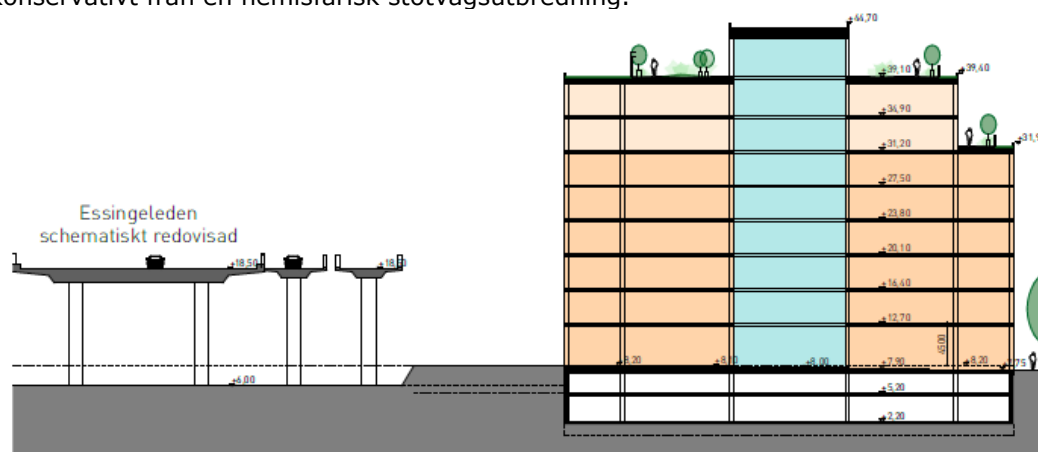
C.4. Last

C.4.1. Orientering

En eventuell explosion antas ske på Essingeleden i en linje som motsvarar dess vägren. Följande lastsituationer bedöms kunna uppkomma och behandlas i detta dokument:

- Gasexplosion
- BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*)
- Explosion från sprängämne

Konservativt kan en hemisfärisk (halvsfärisk) utbredning antas för den luftstöt våg som fås från en explosion på Essingeleden. För en explosion som inträffar uppe på Essingeleden kan det dock argumenteras för att den resulterande stöt våg utbredningen, på grund av vägens upphöjning gentemot markplan, inte blir hemisfärisk, se figur 36. Eftersom vägbanan ligger omkring 12 m ovanför omgivande marknivå skulle en mer gynnsam uttunning av stöt vågen därför kunna uppstå, dvs. en större volym täcks in av stöt vågsfronten, vilket skulle medföra att den resulterande explosionslasten minskar. I det fortsatta resonemanget som presenteras här utgås dock ändå konservativt från en hemisfärisk stöt våg utbredning.



Figur 36. Essingeledens placering i höjddled i linje med kontorsbyggnad i Kv 6. Vägens upphöjning över omgivande marknivå gör att det blir konservativt att anta en hemisfärisk utbredning av luftstöt våg från explosion.

Vid bestämning av resulterande last från en explosion är det viktigt att skilja på last från en oreflekterad och en reflekterad stöt våg. Det senare fallet ger en märkbart högre last (minst en faktor två högre tryck än för oreflekterad stöt våg) och är aktuellt för t.ex. fasad som vetter mot explosionskällan. Som jämförelse är last från en oreflekterad stöt våg aktuellt för t.ex. taket på en byggnad eller för en fasad som inte syns från explosionskällan. Om inget annat explicit anges så utgås fortsättningsvis från ett värsta lastfall, dvs. reflekterat tryck mot fasad som vetter mot Essingeleden.

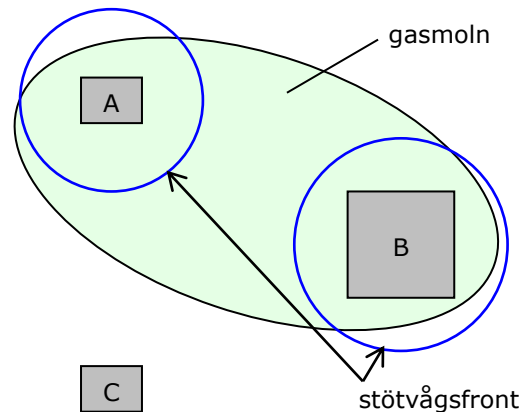
C.4.2. Gasexplosion

C.4.2.1. Beräkningsmetod – TNO Multienergimetod

I litteraturen finns olika anvisningar om hur last från en gasexplosion kan beräknas. I det här dokumentet används den så kallade TNO Multienergimetoden, van den Berg (1985), för att beräkna resulterande last och närmare beskrivning samt beräkningsgång är hämtad från Johansson (2013).

TNO Multienergimetoden bygger på att en gasexplosion består av ett antal delexplosioner där en kraftfull explosion enbart kan initieras i de delar av molnet där gasens expansionsmöjligheter är begränsade, dvs. helt eller delvis inneslutna volymer eller i blockerade områden. Detta innebär att det i ett gasmoln potentiellt kan skapas flera av varandra oberoende explosioner, var och en med sitt eget energiinnehåll. Vidare är det enbart de delar av gasmolnet som inryms i områden som betraktas som explosionsbenägna som används för att bedöma styrkan hos en kraftfull explosion.

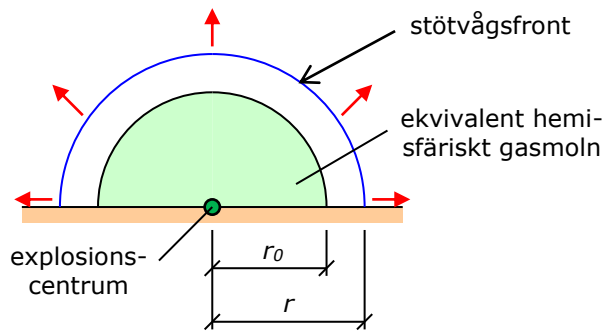
Detta illustreras schematiskt i figur 37 där ett gasmoln spritt ut sig inom markerat område. I figuren markerar A, B och C områden med någon form av inneslutning och/eller blockering i en sådan omfattning att de bedöms kunna initiera en kraftfull explosion. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan därför vardera generera en explosion medan område C är beläget utanför gasmolnet och därför inte bidrar till detta. Den explosionsalstrande energimängden baseras på volymen i område A respektive B och kan generera två av varandra oberoende explosioner med olika styrka och med explosionscentrum centriskt placerad inom respektive delvolym. Övriga delar av gasmolnet, utanför område A och B, bidrar dock inte till energimängden i någon av dessa båda explosioner. Därmed begränsas eventuella kraftfulla explosioners tillgängliga energimängd till det minsta av hur stor mängd av gasmolnet som ryms i en explosionsinitierande volym eller av gasmolnets aktuella storlek. Gasen utanför område A och B kan också ge upphov till en explosion men då med en lägre styrka. En sådan explosion baseras då på den totala gasvolym som befinner sig utanför område A och B.



Figur 37. Schematisk illustration av TNO multienergimetod. Ett gasmoln täcker markerat område. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan båda ge upphov till varsin explosion.

Beräkningsmodellen i TNO multienergimetod baseras på att framtagen gasvolym inom respektive område omvandlas till en ekvivalent hemisfär innehållande samma volym, se figur 38. Gasen antas bestå av en homogen, stökiometrisk blandning av gas och luft med en förbränningsenergi $E'_{gas} = 3,5 \text{ MJ/m}^3$, som är oberoende av gastyp.

Explosionen förutsätts ske nära mark på ett sådant sätt att tredimensionell avlastning är möjlig. Detta innebär att effekten av så kallad spegling också redan har beaktats i för metoden angivna samband.



Figur 38. Schematisk illustration av en ekvivalent hemisfärisk gasvolym som används i TNO multienergimetod, där r_0 betecknar radien hos den ekvivalenta volymen.

C.4.2.2. Föresättningar

I TNO Multienergimetoden finns det tre parametrar som avgör vilken last som fås från en given gasexplosion:

- Ingående stökiometriskt blandad gasvolym (explosionskällans energimängd)
- Explosionsstyrka (anges med en styrkefaktor, graderad 1-10 där ett högt värde anger en kraftig explosion – 10 motsvarar en detonation)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

Val av explosionsstyrka är en viktig parameter som har stor inverkan på storleken hos den förväntade explosionslasten. Det är dock svårt att bedöma vilken styrka som ska användas i en given situation och här utgår från förenklade riktlinjer som ges i Johansson (2013).

Gasvolym

Hur storleken på en blockerad gasvolym, som kan ge upphov till en kraftig gasexplosion, ska bestämmas är inte självklart. För en gasexplosion med sitt centrum på Essingeleden finns det inga fasta naturliga områden som kan ge upphov till en kraftig explosion. Vid händelse av en olycka kommer det dock finnas ett antal fordon i området som kan ge upphov till en sådan blockerad volym.

Ett möjligt sätt att resonera för bestämning av en starkt blockerad volym är därför att utgå från den gasmängd som samlas under en ansamling av fordon, dvs. mellan vägbana och undersida fordon. Här har utgått från en volym enligt nedan:

$$V_{\text{fordon}} = b \cdot l \cdot h = 2 \cdot 5 \cdot 0,5 = 5 \text{ m}^3 / \text{fordon}$$

Det kan även argumenteras att utrymmet mellan bilar till viss del ska innefattas i en sådan volym. Detta kan göras genom att approximativt öka längden med 0,5 m i horisontalled, vilket då ger en volym på:

$$V_{\text{fordon,mod}} = b_{\text{mod}} \cdot l_{\text{mod}} \cdot h = 3 \cdot 6 \cdot 0,5 = 9 \text{ m}^3 / \text{fordon}$$

Av detta resonemang fås att omkring 5-10 m³ gas/fordon kan vara rimligt att utgå från vid uppskattning av en blockerad volym. Om det antas att 10-20 bilar innefattas i det utsläppta gasmolnet fås då 50-200 m³ gas, beroende på vilket grundvärde som väljs. Totalt bedöms det vara rimligt att ta höjd för en stökiometriskt blandad gasvolym på totalt 1 000 m³.

Styrkefaktor

Följande styrkefaktorer utgås från i här utförda beräkningar:

- En styrkefaktor på $s = 2$ motsvarar en gasmolnsexplosion på en mer eller mindre **öppen yta**.
 - För detta fall utgörs gasvolymen av den totala mängd stökiometriskt blandad gas som finns tillgänglig – inte av den blockerade volymen.
- En styrkefaktor på $s = 5$ motsvarar en gasexplosion i en **blockerad volym**.
 - För ett sådant fall är det rimligt att utgå från en större gasvolym än vad som är fallet vid en starkt blockerad volym – $V_{gas} = 100-200 \text{ m}^3$.
- En styrkefaktor på $s = 7$ motsvarar en gasexplosion i en **starkt blockerad volym**.
 - Här har antagits att den tvådimensionella fördämning som fås av gasen mellan vägbana och undersida fordon motsvarar ett sådant fall. Det är också rimligt att utgå från en mindre gasvolym än när $s = 5$ antas – $V_{gas} = 50-100 \text{ m}^3$.

Enligt VROM (2005) kan en fördröjd antändning av ett gasmoln på en öppen yta resultera antingen i en gasmolnsbrand eller en gasexplosion och fördelningen mellan dessa båda händelser bedöms vara 60/40 %. Utifrån mer precisa mätningar av farligt godstransporter som genomförts av Stockholm stad tillsammans med Trafikverket 2015 kan konstateras att transporter av naturgas (LNG – *Liquefied Natural Gas*) förväntas utgöra majoriteten av antalet transporter av brännbar gas, adr-klass 2.1.

Inom moln av metan (LNG) sprids lågor långsamt, varvid lågan kan slockna i förtid utan att hålla sig brinnande genom hela molnet. Tillräcklig acceleration av förbränningen (dvs. $>100 \text{ m/s}$) för att skapa ett verkligt explosionsövertryck uppträder vanligtvis inte, om ingen blockering eller inneslutning föreligger, se DNV (2013). Utomhus i den öppna luften förväntas generellt inte att gasen blir innesluten/delvis innesluten, och erfarenheten tillsäger att metangas brinner relativt långsamt (i närheten av 10 m/s), varvid all expansion resulterar i att gasen stiger vertikalt, DNV (2013). Antändningsprover med spridda, ej inneslutna, LNG-gasmoln har bekräftat att inget påtagligt övertryck utvecklas ($<1 \text{ kPa}$). Med avseende på rådande förhållanden är det således högst otroligt att en gasmolnsexplosion uppstår givet ett utsläpp av LNG och det troligaste förloppet på en öppen yta är således ett förlopp som genererar närmast obefintliga övertryckseffekter. Baserat på den typ av brandfarliga gaser som primärt är aktuella för transport på Essingeleden (LNG) så bedöms den riskfördelning som anges i VROM (2005) därför vara väl konservativ för här studerat fall.

För det fall att en gasexplosion uppstår så utgår här använd beräkningsmetod från ett energi-innehåll som motsvarar en stökiometriskt blandad gas, dvs. att en optimal blandning av luft och brännbar gas har erhållits. Om så inte är fallet fås en explosion med reducerad styrka. Det är inte sannolikt att en stökiometrisk blandning uppstår men att utgå från en sådan situation resulterar i ett konservativt lastantagande och används därför här.

Baserat på ovanstående kan det argumenteras för att $s = 2$ samt $s = 7$ är högt valda värden för det aktuella fallet när vi har låg- och mellanreaktiva gaser såsom metan eller propan. Ett resonemang enligt ovan har av författaren dock använts i andra liknande sammanhang och medför en konservatism i bedömningen som har ansetts vara rimlig att ha med. En överskattning av styrkefaktorn får i de flesta fall också större effekt på den resulterande lasten än en överskattning av ingående gasvolym.

Avstånd

I de framtagna laster som presenteras i detta dokument har utgåts från ett minst avstånd på $r = 25 \text{ m}$ mellan explosionscentrum och byggnadsfasad. Det är dock möjligt att argumentera för en ökning av detta avstånd.

- Placering av en ansamling av 10-20 fordon kommer rimligen ske i 3-4 filer. Beaktande detta fås att centrum för blockerad volym ligger åtminstone omkring 5 m från Essingeledens kant. Dvs. om avstånd från Essingeledens kant till byggnad är 25 m skulle avstånd till explosionscentrum kunna uppskattas till 30 m.
- För en större öppen gasmolnsexplosion kan det argumenteras för att last från en gasexplosion med $s = 2$ kan befinna sig närmare byggnaden än 25 m eftersom gasmolnet kan blåsa mot byggnaderna. Antändning i yttre delen av molnet innebär emellertid med stor sannolikhet att förloppet kommer karakteriseras av en gasmolnsbrand (*flash fire*) eftersom koncentrationen inom denna del av molnet kan förutsättas ligga vid sin undre explosionsgräns. För ett explosionsartade förlopp anses det rimligt att antändning förutsätts ske i närhet till olycksplatsen, eftersom det är inom detta område det skulle kunna ske ansamling av större gasmängder inom stökiometriska koncentrationer. De primära tändkällorna av ett gasmoln utgör vidare fordonen på transportleden, vilket ytterligare styrker resonemanget att det är rimligt att explosionscentrum utgår från olycksplatsen. I här utförda beräkningar bedöms det därför rimligt att bibehålla avståndet till 25 m även när $s = 2$.
- Här utgår konservativt från ett minsta avstånd på 25 m för beräkning av last från explosion. Vid en mer detaljerad analys av last mot en byggnad är det dock även möjligt att beakta ökat avstånd till olika delar av byggnaden – något som kan medföra en reduktion av resulterande last.

C.4.3. Explosion från BLEVE

En explosion från en så kallad BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) är ett resultat av en trycksatt vätska i en behållare som gör att vätskan förhindras att övergå till ånga. Om behållaren brister sjunker dock trycket plötsligt varvid vätskan kokar och övergår till ånga. Detta genererar en snabbt expanderande ånga och vätska som i sin tur kan ge upphov till ett explosionsliknande förlopp som genererar en luftstöt våg som breder ut sig i omgivningen.

För att en BLEVE ska kunna inträffa krävs, enligt CCPS (2010), att följande villkor uppfylls:

- En vätska som har en temperatur som överstiger sin kokpunkt vid normalt lufttryck
- En sluten behållare som kan motstå det tryck i vätskan som krävs för att förhindra kokning
- Ett plötsligt brott i behållaren som gör att vätskestrycket hastigt sjunker.

Den vanligaste orsaken till att en BLEVE uppstår är kopplat till upphettning av behållaren på grund av en brand. Värmen från branden bidrar dels till att öka trycket inne i tanken och dels medför det en försvagning av behållarens mekaniska styrka (hållfastheten hos stål halveras vid en temperatur av omkring 500 °C).

Ovanstående förutsättningar innebär att en BLEVE har lättare att uppstå i en LNG-behållare än i t.ex. en tank med bensin eller diesel. Hos den förra typen är konceptet att naturgas i flytande form transporteras nedkyld (-162 °C) under atmosfärstryck i dubbla vakuumisolerade tankar vars säkerhetsventiler aktiveras vid en tryckhöjning om cirka 7-9 bar. LNG-behållare är således utformade för att klara stora tryck. Om en situation enligt ovan uppstår som innebär att en brand föranleder en snabb förångning av den nedkylda naturgasen finns det därför också risk att en BLEVE kan uppstå.

Bensin eller diesel befinner sig dock redan naturligt i vätskefas och dess behållare behöver därför inte heller utformas för att klara något högt tryck. Det tryck som krävs för att en sådan behållare ska brista är därför förhållandevis lågt, vilket medför att det inte heller kommer att kunna uppstå en explosion av nämnvärd storlek.

För att ytterligare minska risken för explosion med bensin och diesel är sådana behållare utrustade med säkerhetsventiler som gör att gas kan släppas ut om trycket blir för stort (över 0,25 bar) och

därmed begränsa det resulterande övertrycket i behållaren. En annan förebyggande åtgärd är att behållaren hos tankbilar normalt är uppdelade i ett antal olika separata fack, vilket gör att vätskevolymen som kan generera en möjlig BLEVE begränsas. Detta medför att risken för en kraftfull explosion reduceras ytterligare eftersom ett brott i behållaren sannolikt inte sker i mer än ett fack samtidigt. I princip kan därför konstateras att BLEVE är relevant för LNG-behållare medan riskerna för att en BLEVE ska uppstå i samband med en olycka involverande bensin- eller dieseltank kan förväntas vara försumbara.

En BLEVE kan, enligt CCPS (2010), resultera i bland annat följande konsekvenser:

- Stötvåg
- Splitterutkast
- Eldklot

Att teoretiskt bestämma vilken stötvågslast som genereras av en BLEVE är svårt. De beräkningsmodeller som finns för att uppskatta explosionslasten från BLEVE kan vara mycket konservativa och i det här dokumentet utgås därför från observationer om last som har gjorts för inträffade olyckor. I Planas-Cuchi *et al.* (2004) och Planas *et al.* (2015) beskrivs två olika explosionsolyckor i Spanien som inträffade 2002 respektive 2011 och som är kopplade till BLEVE. I båda fallen härrörde explosionen från tankbilar som transporterade LNG. Lastvolymen uppgick i båda fallen till cirka 56 m³ med ett dimensionerat tryck på 7 bar, något som bedöms vara representativt även för svenska förhållanden. Baserat på observationer från olycksplatsen presenteras en konservativ baklängesräkning i ovanstående referenser, där en uppskattning har gjorts av den ekvivalenta mängden TNT som krävs för att generera samma explosionslast som erhålls i BLEVE-olyckan. Dessa beräkningar ger ekvivalenta TNT-mängder på 30-75 kg samt 41-52 kg TNT för olyckan 2002 respektive 2011, dvs. ett medelvärde på 53 kg respektive 47 kg.

En BLEVE kan ge upphov till fragment (från framförallt behållaren för vätska/gas) som kastas flera hundra meter bort från explosionskällan. Dessa fragment är i regel relativt få till antalet och ett enskilt fragment kan storleksmässigt utgöra en betydande andel av behållarens totala storlek. Uppkomsten av en BLEVE gör att utkastriktningen hos sådana fragment sker i linje med behållarens längd (dvs. tankbilens längd). Med tanke på potentiell storlek hos sådana fragment är det mycket svårt att skydda sig mot en sådan händelse. Skadeomfattningen av att människor i omgivningen skulle kunna träffas från flygande fragment kan vidare betraktas som försumbar i relation till de potentiella skadeeffekterna från uppkommen värmestrålning och stötvåg. Utkast av flygande fragment bedöms därmed inte relevant att studera ytterligare i denna utredning.

Ett eldklot från en BLEVE kan sträcka sig långt ut från explosionscentrum och utgör också ett dödligt hot mot de människor som hamnar inom dess utbredning. För att minimera risken för omgivningen är det därför väsentligt att eldklotet förhindras att komma i kontakt med människor i så stor grad som möjligt.

C.4.4. Explosion från massexplсивt sprängämne

C.4.4.1. Beräkningsmetod

I litteraturen finns det tydliga anvisningar om hur den resulterande lasten från en explosion av sprängämne kan beräknas och för här framtagna lastvärden utgås från anvisningar i Johansson (2012).

C.4.4.2. Förutsättningar

Till skillnad mot en gasexplosion så kommer en explosion av sprängämnen alltid utgöras av en detonation. Detta medför att explosionen alltid blir kraftig samt att osäkerheten i bestämningen av resulterande last minskar betänkligt jämfört med vad som gäller vid en gasexplosion.

Vid beräkning av explosionslast från sprängämne avgör följande faktorer vilken last som fås:

- Mängd och typ av sprängämne (explosionskällans energimängd)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

De empiriska samband som sedan används för att beräkna lasten utgår normalt från sprängämnet TNT. Olika typer av sprängämnen karakteriseras därför ofta med en så kallad ekvivalent TNT-vikt, dvs. en dimensionslös faktor med vilken den aktuella vikten ska multipliceras för att få samma last som 1 kg TNT (Trotyl). I detta dokument utgås dels från TNT men också från dynamit, där den senare bedöms ha en faktor på 0,6 (1 kg dynamit motsvarar 0,6 kg TNT).

Vilken mängd sprängmedel som ska användas för dimensionering av närliggande bebyggelse till farligt godsled är en fråga som blir väldigt central för den resulterande last som slutligen används för detta. Det kan argumenteras för att man här bör ta höjd för en förhållandevis stor mängd sprängmedel, för att därigenom säkerställa att dimensionering görs på säker sida. Samtidigt innebär dimensionering av större laster stora begränsningar i byggnadsteknik och kan vidare föranleda betydande inskränkningar i byggnadsfunktion och gestaltning. Att helt skydda människor inomhus från påverkan vid en större explosion i det fria är i många fall ogörligt om inte byggnaden utformas utan glaspartier och mer i likhet med ett skyddsrum. En sådan utformning bedöms dock vara praktiskt ogörlig.

Utgångspunkten för vidare analys av laster och rekommendation av skyddskoncept utgår från en måttlig sprängämnemängd – en explosion orsakad av 100 kg dynamit (motsvarar 60 kg TNT). Bakgrunden till detta val är att 100 kg av ett sprängämne bedömts vara en rimlig övre mängd för mer "vardagliga" transporter till och från byggarbetsplatser via Essingeleden. Dessa transporter är vidare osäkrare i jämförelse med de lastbilar (EX/II- eller EX/III-fordon) som transporterar större lastmängd, varför en olycka involverande denna typ av transporter löper större risk att föranleda en detonation givet t.ex. uppkomst av brand i fordonet. Som bakgrund till val av mängd sprängämne kan även nämnas att flertalet av de terroristattentat som riktats mot västvärldens intressen under de senaste 25 åren har understigit en laddningsmängd av i storleksordningen 1000 kg TNT – i Breiviks attentat i Oslo 2011 användes exempelvis en laddning på motsvarande omkring 700 kg TNT. Att dimensionera bebyggelsen för ett totalskydd mot olyckslast motsvarande den från en terroristattentat bedöms inte vara ett befogat förfarande sett utifrån ett riskhanteringsperspektiv.

Ovanstående lastfall, baserat på 100 kg dynamit, anses även täcka in last från BLEVE, som bedöms motsvara en explosion från omkring 50 kg TNT.

Vid dimensionering av skyddskoncept beaktas sålunda inte mer extrema lastfall som teoretiskt skulle kunna uppstå vid större transporter av massexplсивa ämnen i denna utredning. En fördjupad analys av vilka resulterande laster som kan uppkomma från explosion av större mängder sprängämne samt vilka potentiella skadeeffekter som kan uppstå av dessa på omgivande bebyggelse redovisas i avsnitt C.6 som underlag för riskbedömning.

C.4.5. Last mot byggnad

C.4.5.1. Orientering

Vilken last som uppstår mot en byggnad beror till stor del på dess avstånd till explosionscentrum – för de laster som diskuteras i detta dokument är det en betydande skillnad på om detta avstånd uppgår till 25, 50 eller 100 m. I en riskutredning antas ofta att explosionscentrum är placerad i ett givet läge, vilket bedöms ge en representativ bild av den sammantagna riskbilden mot studerat område. Dvs. olika lägen på explosionscentrum beaktas normalt sett inte i den totala risksammanställningen. Orsaken till en sådan förenkling är att många olika typer av komplicerade aspekter behöver vägas in för att få fram en övergripande riskbild och för att göra detta arbete praktiskt hanterbart blir en sådan lösning av lastplaceringen nödvändig.

Vid kontroll av enskilda byggnader mot en potentiell explosionslast – och därmed även kravställandet av dessa – utgår dock fortfarande från ett konservativt antagande där placering av explosionscentrum antas vara det värsta tänkbara. Dvs. för kontroll av en byggnad antas lastplaceringen vara rörlig i enlighet med de förutsättningar som finns, t.ex. att explosionslastens centrum utgår från en punkt någonstans på Essingeleden.

Ett sådant angreppssätt medför också att ett robust skydd skapas för tillkommande bebyggelse, som är okänslig mot vart på Essingeleden olyckan uppstår. Verkliga geometriska effekter, så som att en byggnad är helt eller delvis dold bakom en annan byggnad (jämför Kv 1-5 i figur 30 som till stor del döljs av Kv 6 gentemot en potentiell explosionslast på Essingeleden), beaktas inte. En sådan gynnsam effekt är dock något som vid behov kan beaktas vid bestämning av dimensionerande last mot en byggnad.

C.4.5.2. Avstånd 25 m

Beräkningar utförs för att få fram lastvärden som kan jämföras mellan olika lastsituationer när explosionen antas inträffa på ett avstånd om 25 m från byggnadsfasad, se tabell 10. I tabellen jämförs resulterande tryck och impulstäthet för olika mängd gasvolym och styrkefaktorer. Syftet med denna jämförelse är att tydligare belysa effekten av en ändrad gasvolym kontra en ändrad styrkefaktor.

Av tabell 10 framgår att lasten från en explosion med en hög styrkefaktor ($s = 7$) men mindre blockerad volym ($V = 100 \text{ m}^3$) blir större jämfört med vad som fås från en explosion med en medelhög styrkefaktor ($s = 5$) och blockerad större volym ($V = 200 \text{ m}^3$). Lasten från en gasexplosion på en öppen yta ($s = 2$), men med en hög volym ($V = 1\,000 \text{ m}^3$), får visserligen en högre impulstäthet men samtidigt fås också ett märkbart lägre tryck för detta fall. Sammantaget kommer därför last från en starkt blockerad gasexplosion med relativt begränsad volym ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) i de flesta fall utgöra ett farligare belastningsfall. Kontroll mot explosionslast orsakad av en stor gasvolym på en öppen yta ($V = 1\,000 \text{ m}^3$, $s = 2$) behöver dock också fortfarande göras eftersom impulstätheten är större än för lastfallet med en starkt blockerad gasexplosion.

Vid jämförelse av last från en starkt blockerad gasexplosion och dynamit så kan det konstateras att det resulterande trycket från dynamit är större samtidigt som impulstätheten är densamma. Detta innebär att den last som fås från en starkt blockerad gasexplosion ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) helt innefattas av den last som fås från en explosion på 100 kg dynamit.

Tabell 9. Resultande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 25 m.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta (svag)	25	1 000	1	1,8	463	427
Gasexplosion, öppen yta (stark)	25	1 000	2	3,4	287	492
Gasexplosion, blockerad	25	100	5	15	30,9	234
Gasexplosion, blockerad	25	200	5	19	38,9	374
Gasexplosion, starkt blockerad	25	50	7	35	12,4	215
Gasexplosion, starkt blockerad	25	100	7	50	15,0	374

Beskrivning	r [m]	W [kg]	W_{mod} [kg]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	25	60	108	64	12,1	376

C.4.5.3. Avstånd 40 m

Enligt Länsstyrelsen rekommendationer medges principiellt kontorsbyggnader med ett skyddsavstånd på 40 m till farligt godsled utan att några säkerhetshöjande åtgärder, för att hantera konsekvenserna av explosionsförlopp, behöver vidtas. Det är därför av intresse att jämföra vilken effekt på lasten som fås om avståndet ökas från 25 m till 40 m för de olycksförlopp som studeras.

I tabell 11 visas de lastvärden som fås om avståndet är 40 m istället för 25 m. En jämförelse med lastvärden i tabell 10 visar att det ökade avståndet till explosionscentrum visserligen reducerar både tryck och impulstäthet tämligen mycket men att den last som verkar på detta avstånd fortfarande är så hög att den rimligen inte kan avfärdas som ointressant för byggnadens bärlighet.

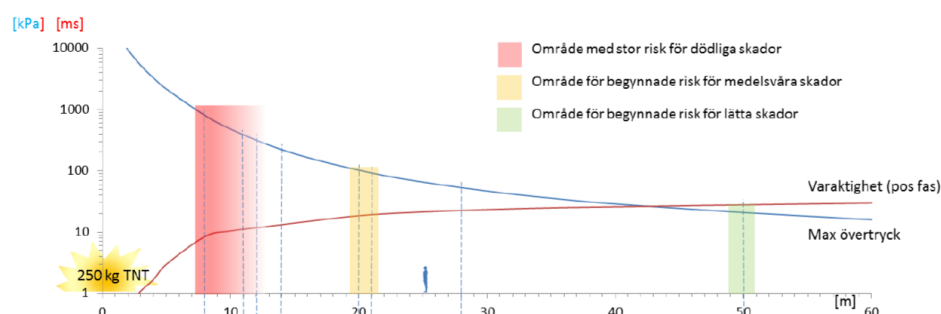
Tabell 10. Resultande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 40 m.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta (svag)	40	1 000	1	1,2	463	269
Gasexplosion, öppen yta (stark)	40	1 000	2	2,2	287	311
Gasexplosion, blockerad	40	100	5	9,4	31,0	145
Gasexplosion, blockerad	40	200	5	12	38,9	231
Gasexplosion, starkt blockerad	40	50	7	17	13,4	115
Gasexplosion, starkt blockerad	40	100	7	24	16,2	196

Beskrivning	r [m]	W [kg]	W_{mod} [kg]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	40	60	180	31	14,9	227

C.4.5.4. Kravbild

De krav som ställs med hänsyn till en explosion är kopplade till att reducera antal omkomna personer till en "acceptabelt" låg nivå utifrån att en sådan olycka trots allt inträffar. En människa har egentligen en förhållandevis god motståndsförmåga mot höga tryck, se figur 38. De lastvärden som kan vara acceptabla för en människa kan dock medföra kollaps av en byggnad. Det är således inte ovanligt att explosionslasten är farligare för en byggnad än för en människa och det kan, ur explosionssynpunkt, därför vara mer farligt för en människa att vara inne i en byggnad med dålig bärlighet än att vara ute i det fria. Om alltför nära avstånd till explosionscentrum undantas så utgörs det primära hotet mot en människa framförallt av att träffas av splitter samt att slungas iväg/falla omkull, varvid det finns risk att allvarlig skada uppstår när personen slår i marken. Om en byggnad helt eller delvis rasar samman så finns det dock stor risk att detta resulterar i ett stort antal omkomna personer.



Figur 39. Skaderisker för oskyddad, stående människa på olika avstånd från en markdetonation av 250 kg TNT. Från Svensson (2015).

Kravbilden vid en explosionslast är att undvika fortskridande ras. Med detta menas här att förlusten av en enskild byggnadsdel inte ska få katastrofala följder så som att hela eller stora delar av byggnaden rasar samman. Förutom att stommens bärlighet säkerställs bedöms begreppet "fortskridande ras" här även inbegripa att bjälklag i byggnaden ska förbli intakta vid en explosion. Dvs. bjälklagen ska inte brytas sönder så att personer på ett plan faller ner en våning, eller att någon på planet nedanför riskerar att ovanpåliggande bjälklag (dvs. taket i den våningen personen befinner sig på) faller ner. I begreppet "fortskridande ras" bedöms dock inte ingå att fasaden ska förbli intakt (undantag gäller om fasaden är bärande – då ingår denna som en del i den bärande stommen och måste därför hålla).

Av brandskäl finns det ofta krav att fasaden ska utföras med icke brännbart material. Detta kan exempelvis medföra att särskilda åtgärder måste göras på fönster som vetter mot Essingeleden. Det framgår dock inte tydligt om dessa krav också ska vara gällande efter en explosion, dvs. efter det att en explosion kan ha fått fasaden att falla. Med anledning av detta uppstår ett frågetecken på vilka krav som ska ställas på byggnadens fasad. Ur bärlighetssynpunkt är det acceptabelt att en icke bärande fasad slås ut och helt eller delvis kastas in i byggnaden. Ett potentiellt problem med ett sådant scenario är dock att en sådan händelse otvivelaktigt kommer att medföra ökad risk för allvarliga skador för de personer som befinner sig inne i byggnaden. Frågeställningen flyttas då framförallt från att vara kopplat till byggnadens bärlighet till att vara kopplad till acceptabel risk för allvarlig skada för personer inne i byggnaden.

C.4.5.5. Effekt av explosionslast

Det är intressant att jämföra resulterande laster enligt tabell 10 och 11 för avstånd på 25 m respektive 40 m till explosionskällan. Av detta framgår att de laster som kan förväntas uppkomma mot en byggnad som är placerad på det "normala" säkerhetsavståndet om 40 m fortfarande kommer vara så stora att olika problem med byggnaden fortfarande kan förväntas uppstå. De laster som fås bedöms således vara av en sådan storleksordning att de inte kan sägas innefattas av de statiska laster som normalt beaktas vid dimensionering av sådana byggnader.

Vilken dynamisk last som en given byggnad klarar av att hantera utan extra förstärkande åtgärd är starkt beroende av hur byggnadens bärande system samt fasad ser ut¹². Om fasaden består av armerade betongelement är det förmodligen möjligt att påvisa att effekten på dessa, från en explosionslast, är förhållandevis begränsad. Om fasaden dock istället består av någon form av lättelelement, t.ex. förtillverkade element av stenull med tunna pålimmade stålplåtar på fram- och baksida, så är risken dock stor att dessa inte klarar av aktuella laster lika väl och att någon form av förstärkning kan behövas. Vidare utgör glas i fasaden en potentiell svaghet med hänsyn till explosionslast. Enligt Forsén (1997) kan 10 % av fönsterrutor förväntas krossas vid ett explosionstryck på 3 kPa och 50 % krossas vid ett övertryck på 10 kPa, vilket innebär att det fortfarande är troligt att glas i fasaden kommer att skadas allvarligt om byggnaden befinner sig på gränsen till det tillåtna säkerhetsavståndet om 40 m. Förutom risken för skador från glassplitter kommer, om så sker, även fasadens skyddande effekt mot ett efterföljande eldskott eller brand gå förlorad.

En möjlig förstärkningsåtgärd, med hänsyn till detta, är att använda så kallade explosionsresistenta fönster. Tillåten lastkapacitet, uttryckt som tryck och impulstäthet, ges i tabell 12 och av denna framgår att den lägsta klassen, ER1, klarar av tryck på upp till 100 kPa och impulstäthet på 900 Pas¹³. En jämförelse med denna kapacitet och de laster som listas i tabell 10 visar att denna typ av fönster är tillräckliga för att motstå de laster som bedöms kunna uppkomma på ett avstånd om 25 m vid en explosion på Essingeleden. Denna typ av explosionsresistenta fönster ställer dock även krav på kraftigare fönsterramar som kan fästas in i fasaden, något som ytterligare kan bidra till att lättväggar i fasaden inte utgör ett lämpligt alternativ.

Tabell 11. Klassificering av explosionsresistenta fönsterrutor enligt EN 13541.

Klassificering	P_r [kPa]	i_r [Pas]	t_r [ms]
ER1	50-100	370-900	≥ 20
ER2	100-150	900-1500	≥ 20
ER3	150-200	1500-2200	≥ 20
ER4	200-250	2200-3200	≥ 20

Ovanstående jämförelse indikerar att de nuvarande reglerna, med 40 m säkerhetsavstånd, inte har en uppenbar koppling till last från en lite kraftigare explosion enligt ovan. Denna observation ger möjligen även ett visst perspektiv på vilka krav som är rimliga att ställa på den bebyggelse som placeras innanför detta säkerhetsavstånd.

C.4.5.6. Effekt av en "tät" fasad

Om fönster inte utformas som explosionsresistenta finns det en överhängande risk att närliggande byggnaders fönsterrutor kommer att gå sönder om det inträffar en explosion på Essingeleden. De vanligast förekommande personskadorna orsakade av en explosion är i regel skador från splitterfragment. Av dessa skador utgörs i sin tur en betydande majoritet av skador från glassplitter från krossade fönster som kastas in i byggnaden. Om explosionen orsakas av 60 kg TNT på ett avstånd om 25 m från fasaden fås för en 10 mm tjock glasruta (vikt 25 kg/m²) en ungefärlig inkastningshastighet på 15 m/s (54 km/h), och sträckan som glaset kastas in i

¹² En typisk kontorsbyggnad kan förväntas vara utförd med en stabiliserande stomme i platsgjuten eller prefabricerad betong samt med bjälklag av betong. Vidare kan fasaden förväntas utgöras av en relativt stor andel glaspartier med mellanliggande vägg bestående antingen av prefabricerade betongelement eller lätta sandwichelement.

¹³ Det finns även ett ytterligare krav om att lastens varaktighet ska uppgå till minst 20 ms. Detta krav bedöms här vara av mindre betydelse eftersom de beräknade varaktigheter är framtagna med antagande om en triangelformad tryckkurva medan tryckkurvan i verkligheten har en mer exponentiellt avtagande tryckkurva som gör att den verkliga varaktigheten blir större.

byggnaden uppgår till omkring 7-10 m. Vid en sådan explosion finns det således risk för dödliga utfall för personer som befinner sig rimligt nära glasfönster vid fasaden som vetter mot Essingeleden.

Om fönsterrutor inte utformas med explosionsresistent glas så är bedömningen här att en stor andel fönster som vetter mot Essingeleden kommer att krossas och kastas in i byggnaden. Ett sådant regn av glassplitter kommer ovillkorligen resultera i omfattande skärskador på människor i fönstrens närhet. Vidare kan det uppstå andra typer av personskador inne i byggnaden som härrör från omkullkastning av människor och/eller ras av lättare invändiga byggnadsdelar. Det är dock mycket svårt att bedöma vilken dödlighetsgrad dessa händelser skulle ha. Med tanke på att glassplittrets inkastningshastighet uppskattas kunna uppgå till omkring 15 m/s för här studerade laster så bedöms det vara rimligt att en inte oväsentlig andel personer i byggnaden kommer att ådra sig allvarliga, även dödliga, skador. Genom att säkerställa att fasaden blir "tät" ¹⁴ mot explosionslast kan denna osäkerhet dock helt undvikas. En "tät" fasad medför således en säkrare bedömning av antalet omkomna vid händelse av en allvarlig olycka på Essingeleden.

Förutom ökat skydd mot explosionslast så medför en "tät" fasad även ett ökat skydd gentemot brand och förekomsten av efterföljande eldklot vid händelse av gasexplosion eller BLEVE. Vid händelse att en explosion inträffar på Essingeleden så är det också rimligt att anta att en brand kan uppstå i samband med detta. De eventuella åtgärder som tagits för att säkerställa en brandtålig fasad hos en byggnad placerad nära Essingeleden kommer dock få en kraftfullt nedsatt skyddsverkan om betydande delar av fasaden (dvs. fönsterrutor) fallerat på grund av en tidigare inträffad explosion. Av denna anledning fås även ett ökat brandskydd för byggnaden om fasaden utförs som "tät".

En potentiell nackdel med en "tät" fasad är att den effektivare tar upp och för vidare pålagd last in i byggnaden. Detta medför att påkänningen mot byggnadens globala bärsystem ökar jämfört med vad som hade varit fallet om fasaden inte varit "tät". För de laster som utgår från här är det hanterbart att utforma byggnadens stomme så att dessa påkänningar kan tas upp. För stora explosionslaster, t.ex. en explosion från 500-1000 kg TNT på ett kort avstånd, finns dock risk att en sådan ökad lastöverföring kan medföra problem för byggnadens stomstabilisering. För stora explosionslaster kan det, ur byggnadens lastkapacitetsperspektiv, således vara mer fördelaktigt att utforma byggnaden med en fasad som är så klen som möjligt. En sådan utformning kommer visserligen medföra att fasaden kastas in i byggnaden, något som kan förväntas medföra en omfattande påverkan på de människor som vistas där, men samtidigt minskar risken för att byggnadsstommen kollapsar och ger upphov till ett fortskridande ras. Att utforma denna för att motstå även stora explosionslaster är möjligt men medför krav som gör att byggnaden möjligen blir märkbart dyrare och/eller får en utformning som i olika avseenden skiljer sig från den som annars hade varit tänkt. Samtidigt blir de faktiska, positiva skyddseffekterna svåra att tillgodose i och med att människor innanför fasad fortfarande kan förväntas påverkas i en omfattande utsträckning.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en "tät" fasad har en alltigenom gynnsam inverkan vid de mindre, mer troliga, explosionslasterna medan den kan bidra till en negativ effekt vid stora, mer extrema, explosionslaster. I och med att majoriteten av antalet explosionsrelaterade transporter på Essingeleden är kopplade till brandfarlig gas är det också denna typ av olycka som primärt kan förväntas styra risknivåerna för en explosion.

¹⁴ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvågslasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder. Ett visst tryckgenomsläpp och lokala splitterutkast från fönster bedöms dock vara acceptabelt.

En byggnad nära Essingeleden som utformas med en "tät" fasad får flera fördelar:

- Stötvågslasten kommer enbart belasta byggnadens fasad, vilket innebär att potentiella skador på bärande konstruktionsdelar inne i byggnaden effektivt förhindras.
- Glasrutor kastas inte in på människor i byggnaden, ingen risk för invändig omkullvältning eller ras av lättare byggnadsdelar.
- Med intakta glasrutor förbättras skyddet mot värmestrålning, från en efterföljande brand eller eldklot, betänkligt.

Tillsammans medför dessa effekter att några dödsfall inomhus inte är att förvänta för de explosionslastfall som beaktas här. Den potentiella nackdel som en tät fasad innebär vid stora explosionslaster bedöms här därför vara acceptabel med hänsyn till ovan listade fördelar.

C.5. Rekommendation

C.5.1. Lastfall att beakta vid dimensionering

Utgående från resonemang och lastresultat rekommenderas det här att last från explosionslast beräknas med följande förutsättningar:

- Gasexplosion
 - Beräkning görs med TNO Multienergimetod, se Johansson (2013), med volym V och styrkefaktor s enligt nedan:
 - Gasexplosion, öppen yta: $V = 1\,000\text{ m}^3$, $s = 2$
 - Gasexplosion, starkt blockerad: $V = 1\,00\text{ m}^3$, $s = 7$
- BLEVE
 - Beräkning görs som för en explosion med en ekvivalent mängd TNT och innefattas av den mängd som beaktas för explosion av sprängämne.
- Explosion av sprängämne
 - Beräkning görs med sprängämne omräknat till ekvivalent mängd TNT, se Johansson 2012), med mängd TNT enligt nedan:
 - Dynamit, 100 kg: $W = 60\text{ kg TNT}$
(speglingsfaktor 1,8 $\rightarrow W_{mod} = 108\text{ kg TNT}$)

C.5.2. Resultande tryck och impulstäthet på olika avstånd

I tabell 12 och 13 sammanställs resulterande last från gasexplosion respektive explosion från BLEVE/sprängämne. Last presenteras för oreflekterad samt reflekterad stötvåg på olika avstånd från explosionscentrum. Angivna värden beaktar enbart normalreflexion och det finns således möjlighet att vid behov påvisa reducerade lastvärden för att ta hänsyn till sned reflexion.

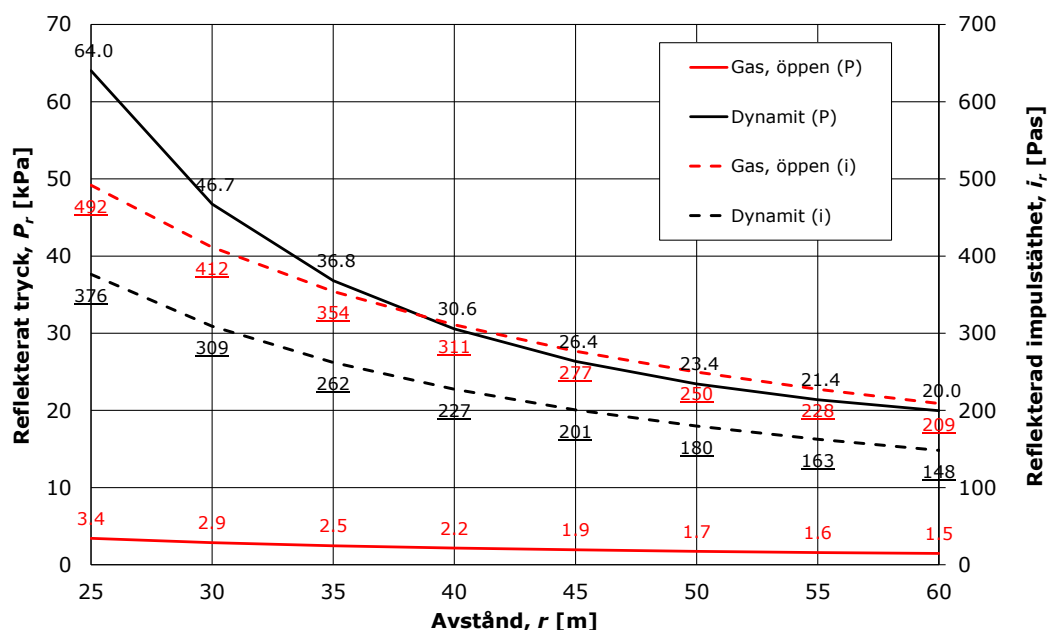
Tabell 12. Resultande last från oreflekterad och reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion på avstånd 25-60 m från explosionscentrum.

Beskrivning	r [m]	V [m ³]	s [-]	P_s [kPa]	t_s [ms]	i_s [kPas]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Gasexplosion, öppen yta	25	1 000	2	1,70	287	244	3,43	287	492
Gasexplosion, öppen yta	30	1 000	2	1,43	287	205	2,87	287	412
Gasexplosion, öppen yta	35	1 000	2	1,23	287	176	2,47	287	354
Gasexplosion, öppen yta	40	1 000	2	1,08	287	155	2,17	287	311
Gasexplosion, öppen yta	45	1 000	2	0,96	287	138	1,93	286	277
Gasexplosion, öppen yta	50	1 000	2	0,87	287	125	1,74	286	250
Gasexplosion, öppen yta	55	1 000	2	0,79	287	114	1,59	286	228
Gasexplosion, öppen yta	60	1 000	2	0,73	287	105	1,46	286	209
Gasexplosion, starkt blockerad	25	100	7	22,8	15,3	175	50,0	15,0	374
Gasexplosion, starkt blockerad	30	100	7	17,5	15,8	138	37,5	15,5	290
Gasexplosion, starkt blockerad	35	100	7	14,0	16,1	113	29,6	15,9	235
Gasexplosion, starkt blockerad	40	100	7	11,5	16,4	95	24,1	16,2	196
Gasexplosion, starkt blockerad	45	100	7	9,7	16,7	81	20,2	16,6	168
Gasexplosion, starkt blockerad	50	100	7	8,4	17,0	71	17,4	16,9	147
Gasexplosion, starkt blockerad	55	100	7	7,5	17,3	65	15,5	17,1	133
Gasexplosion, starkt blockerad	60	100	7	6,8	17,5	60	14,0	17,4	122

Tabell 13. Resultande last från oreflekterad och reflekterad luftstöt våg orsakad av BLEVE och exploderande sprängämne (100 kg dynamit) på avstånd 25-60 m från explosionscentrum.

Beskrivning	r [kg]	W [m]	W_{mod} [kg]	P_s [kPa]	t_s [ms]	i_s [kPas]	P_r [kPa]	t_r [ms]	i_r [kPas]
Dynamit (innefattar BLEVE)	25	60	108	28,9	12,8	185	64,0	11,8	376
Dynamit (innefattar BLEVE)	30	60	108	21,7	14,4	156	46,7	13,2	309
Dynamit (innefattar BLEVE)	35	60	108	17,3	15,6	135	36,8	14,2	262
Dynamit (innefattar BLEVE)	40	60	108	14,5	16,4	119	30,6	14,9	227
Dynamit (innefattar BLEVE)	45	60	108	12,5	17,1	106	26,4	15,2	201
Dynamit (innefattar BLEVE)	50	60	108	11,0	17,5	96	23,4	15,3	180
Dynamit (innefattar BLEVE)	55	60	108	9,9	17,8	88	21,4	15,2	163
Dynamit (innefattar BLEVE)	60	60	108	9,0	17,9	81	20,0	14,9	148

En jämförelse mellan last i tabell 12 och 13 visar att last från starkt blockerad gasexplosion alltid understiger last från 100 kg dynamit. För gasexplosion vid öppen yta fås visserligen generellt ett lågt tryck medan impulstätheten överstiger den som fås från explosion med dynamit. Det är troligt att last från dynamit i de flesta fall kommer att utgöra det dimensionerande lastfallet men det finns också situationer där last från gasexplosion på öppen yta ge en mer kritisk lastsituation. I figur 40 sammanställs tryck och impulstäthet för dessa lastfall.



Figur 40. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

C.5.2.1 Krav på fasad

Fasad utförs som "tät", vilket innebär att fasaden ska utformas på ett sådant sätt att last från explosion förhindras att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuella fönsterrutor ska klara av att motstå de dimensionerande lastfallen utan att gå sönder. Mot bakgrund av åskådliggjorda lastfall innebär detta att glaspartier (inklusive dess infästning) i fasad behöver utformas explosionsresistenta, exempelvis i klass ER1 enligt EN 13541 eller motsvarande som säkerställer likvärdigt skydd.

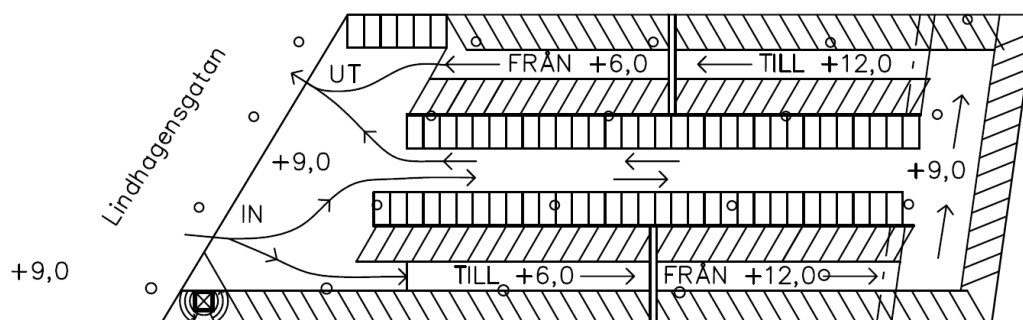
C.5.3. P-hus placerad under Essingeleden

Förutom uppförandet av nya byggnader, Kv 1 till Kv 8, finns det även planer på att uppföra ett P-hus som placeras under själva Essingeleden, se figur 41 och 42 och för sektion respektive planlösning. P-huset utformas som ett öppet garage. För att minimera skadepotentialen i omgivningen, givet en explosion, rekommenderas att P-husets stomme utformas för att inte riskera kollaps givet de dimensionerande lastfallen.

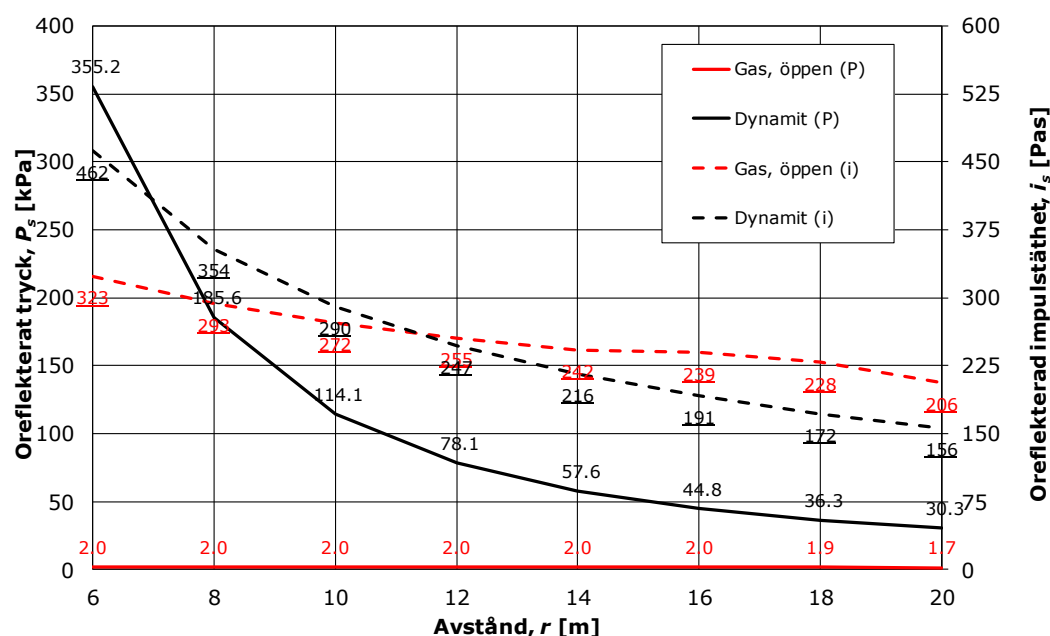
P-husets placering är sådant i förhållande till Essingeleden att en explosionslast inte kommer ge upphov till något direkt reflekterat tryck eftersom en genererad stötvåg först behöver ta sig runt kanten på bron och sedan vända vertikalt nedåt för att kunna ge upphov till en last mot byggnadens övre bjälklag. Detta medför även att det vid lastbestämning är rimligt att anta en sfärisk stötvågsutbredning, något som reducerar lasten ytterligare. Resultande last i, form av oreflekterat tryck på varierande avstånd, redovisas i figur 43. Eftersom det är ett märkbart kortare avstånd till P-husets översida, jämfört med fasad hos byggnader bredvid Essingeleden, så blir också resultande tryck och impulstäthet – trots antagandet om en oreflekterad stötvåg – mot P-huset större. Storleken på dessa laster kan medföra att särskilt beaktande till explosion behöver tas i det översta bjälklaget i P-huset. Avstånd till P-huset ska utgå från vägbanans kant, dvs. avstånd till bjälklagsplatta rakt under Essingeleden ska inte mätas genom brobaneplattan.



Figur 41. Sektion av P-hus samt dess placering i förhållande till Essingeleden.



Figur 42. Planlösning på nivå +9,0 i P-hus.

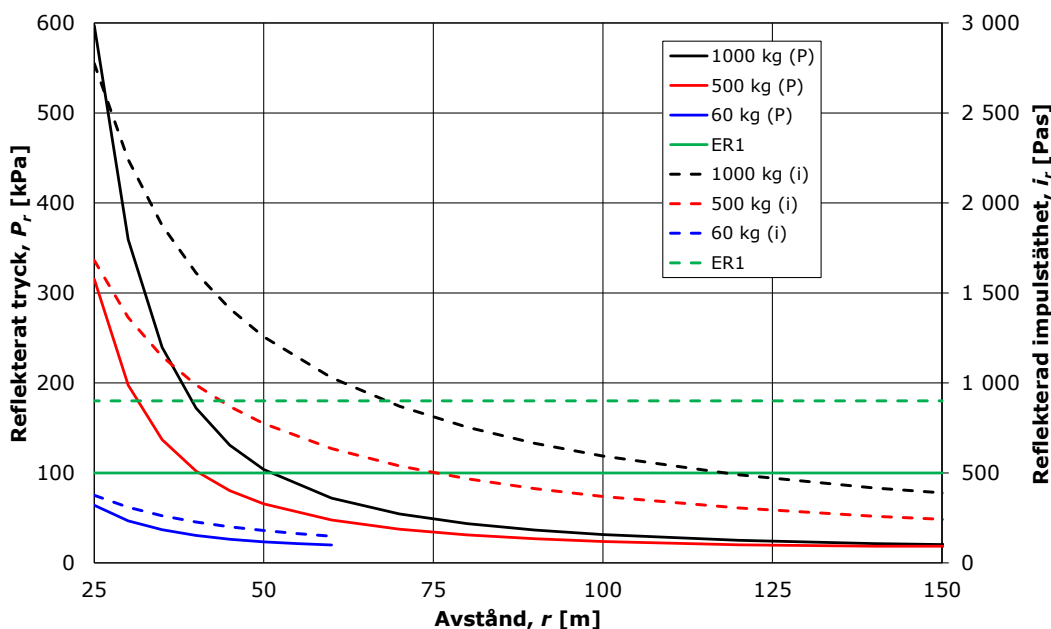


Figur 43. Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid oreflekterad stötvåg, för last mot P-hus för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

C.6. Last från 500 kg och 1000 kg TNT

Som rekommendation för dimensionering av "tät" fasad tas utgångspunkt i mer moderata riskstyrande lastfall. För fullständighetens skull som underlag för riskberäkningar presenteras i detta avsnitt resulterande last från en explosion av stora laddningar, 500 kg samt 1000 kg TNT, på varierande avstånd från explosionscentrum.

I figur 44 visas resulterande tryck och impulstäthet på varierande avstånd för en reflekterad stötvåg orsakad av en explosion av 500 kg samt 1000 kg TNT. Av en jämförelse med lastvärden i figur 40 kan konstateras att de laster som fås från dessa laddningsmängder blir avsevärt större än de som fås från en explosion på 100 kg dynamit (motsvarar 60 kg TNT). Det är svårt att göra en direkt jämförelse mellan de laster som fås från en stor sprängladdning och 100 kg dynamit eftersom varaktigheten, och därmed även impulstätheten, ökar med ökande avstånd. Baserat på en grov bedömning kan dock konstateras att den last som fås från 60 kg TNT på 40 m understiger den last som fås från 500 kg på 100 m eller 1000 kg på 150 m. Av jämförelsen som åskådliggörs i figur 44 kan vidare konstateras att det är svårt att dimensionera upp en "tät" fasad för större laster sett till glaspartier i fasad (ER1 klass är ej erforderligt).



Figur 44. Resulterande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för explosion från 60 kg, 500 kg och 1000 kg TNT på varierande avstånd. I grafen är även gränser för explosionsresistenta fönster av klass ER1 markerat.

C.6.1. Effekt på omgivande byggnader

Två typer av byggnader är planerade att uppföras i området närmast Essingeleden:

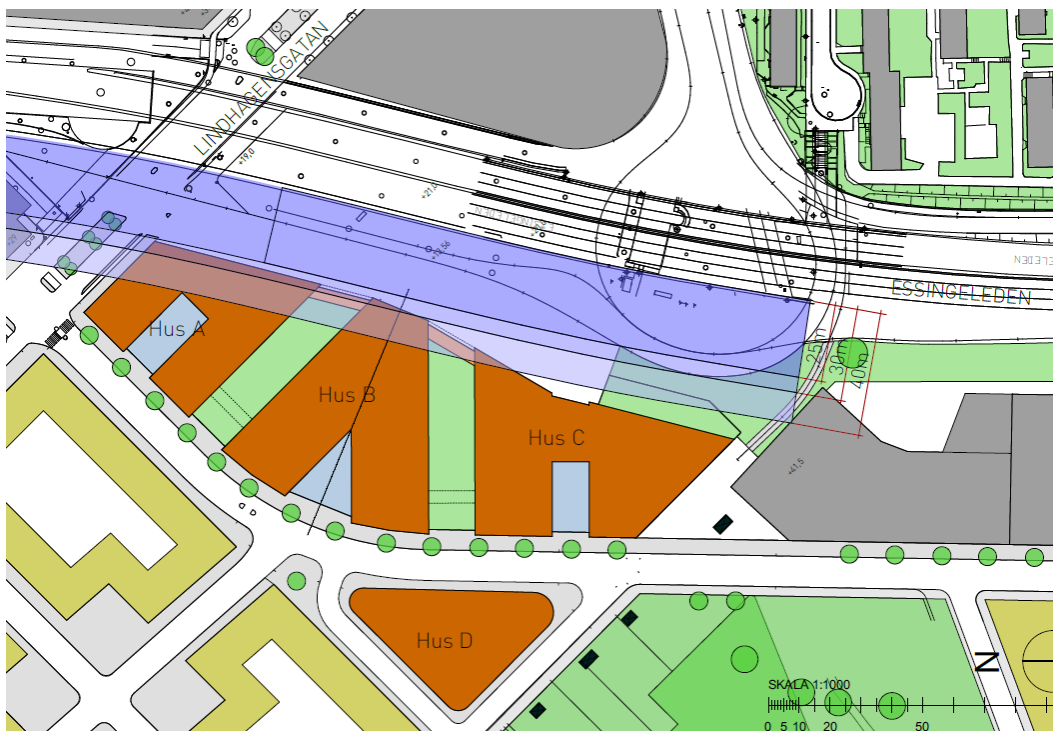
- Två kontorskomplex med Skanska som byggherre.
- En idrottsanläggning med Fastighetskontoret som byggherre.

I avsnitt nedan ges en kort beskrivning av respektive byggnad samt utvecklas kring dessa byggnaders motståndskraft mot större explosioner och förväntade skadeeffekter. Som underlag för samhällsrisksberäkningar görs en övergripande bedömning av befintlig bebyggelse i närområdet motståndskraft mot explosioner.

C.6.2. Kv 6 & 8 – Kontorskomplex

C.6.2.1. Geometri kv 6

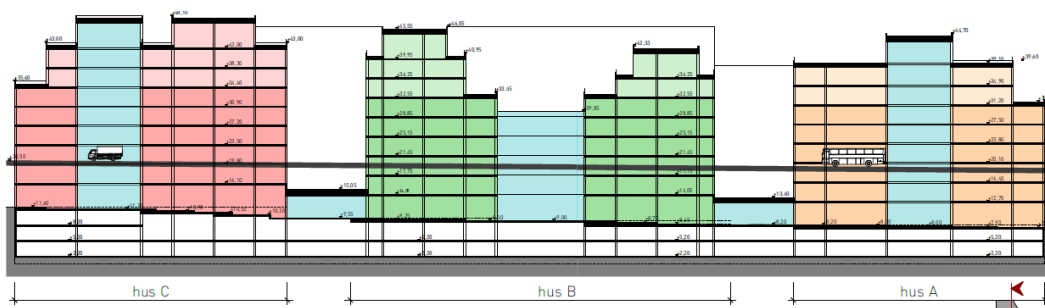
I figur 45 visas placering av kontorskomplex i förhållande till Essingeleden, i figur 46 visas principiell planlösning, i figur 47 visas typsektion hos kontorskomplex längs med Essingeleden och i figur 48 visas fasad hos hus A i detta kontorskomplex.



Figur 45. Placering av kontorsbyggnader gentemot Essingeleden.



Figur 46. Planlösning hos kontorsbyggnader.



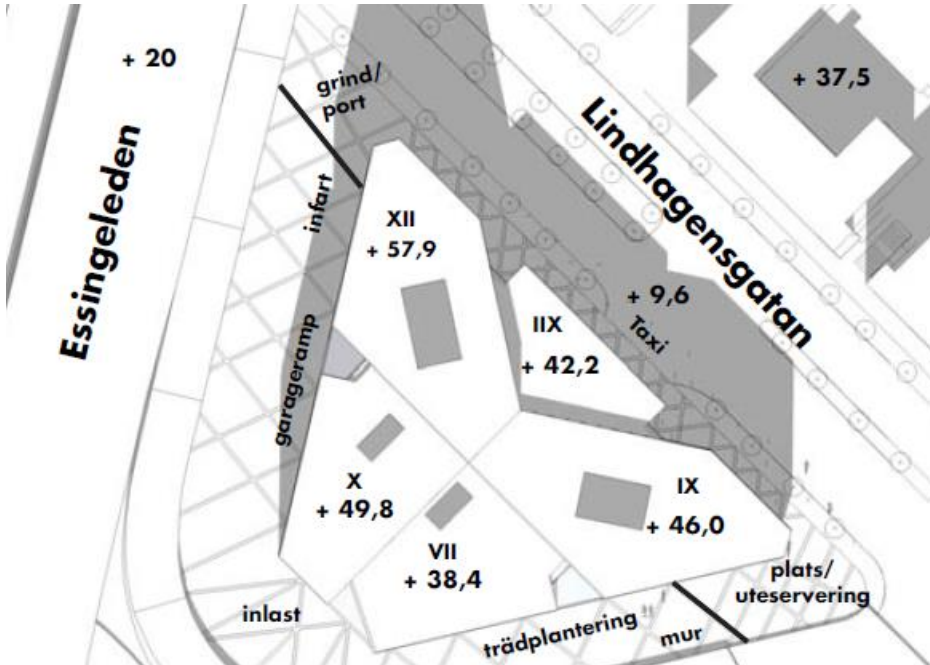
Figur 47. Typsektion hos kontorsbyggnader längs Essingeleden.



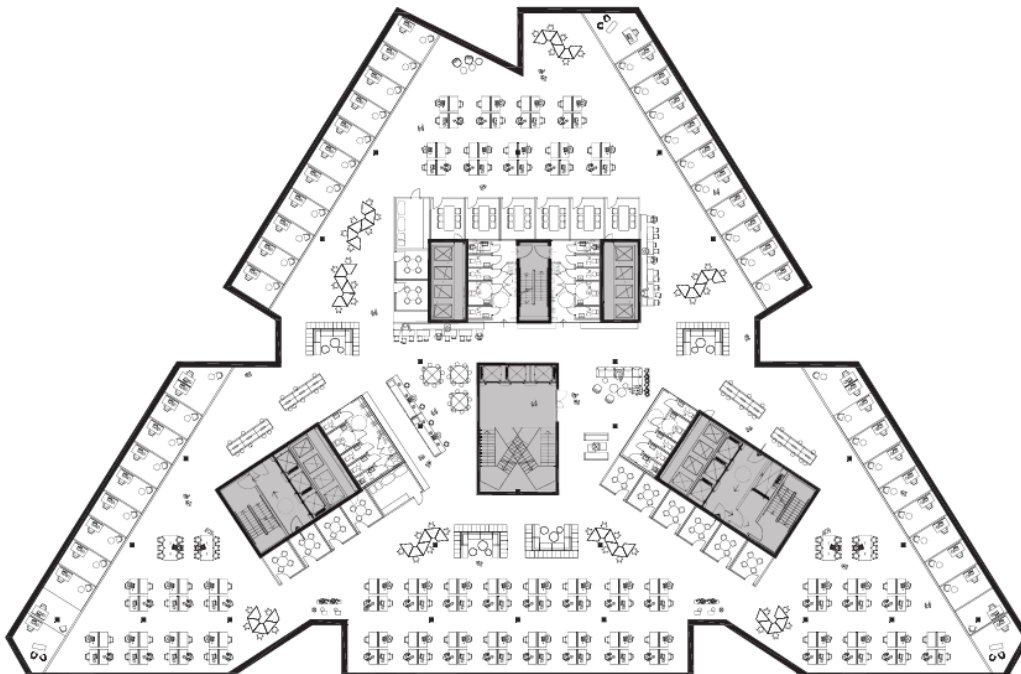
Figur 48. Fasad hos hus A intill Essingeleden.

C.6.2.2. Geometri kv 8

I 49 visas placering av kontorskomplex, kv 8, i förhållande till Essingeleden, i figur 50 visas en typisk planlösning, i figur 51 och 52 visas ett fotomontage med Essingeleden i bakgrunden respektive tänkt fasad mot Essingeleden.



Figur 49. Placering av kontorsbyggnader gentemot Essingeleden.



Figur 50. Typisk planlösning med stombärande trapphus markerade.



Figur 51. Fotomontage av Kv 8 med Essingeleden i bakgrunden.



Figur 52. Fasad mot Essingeleden.

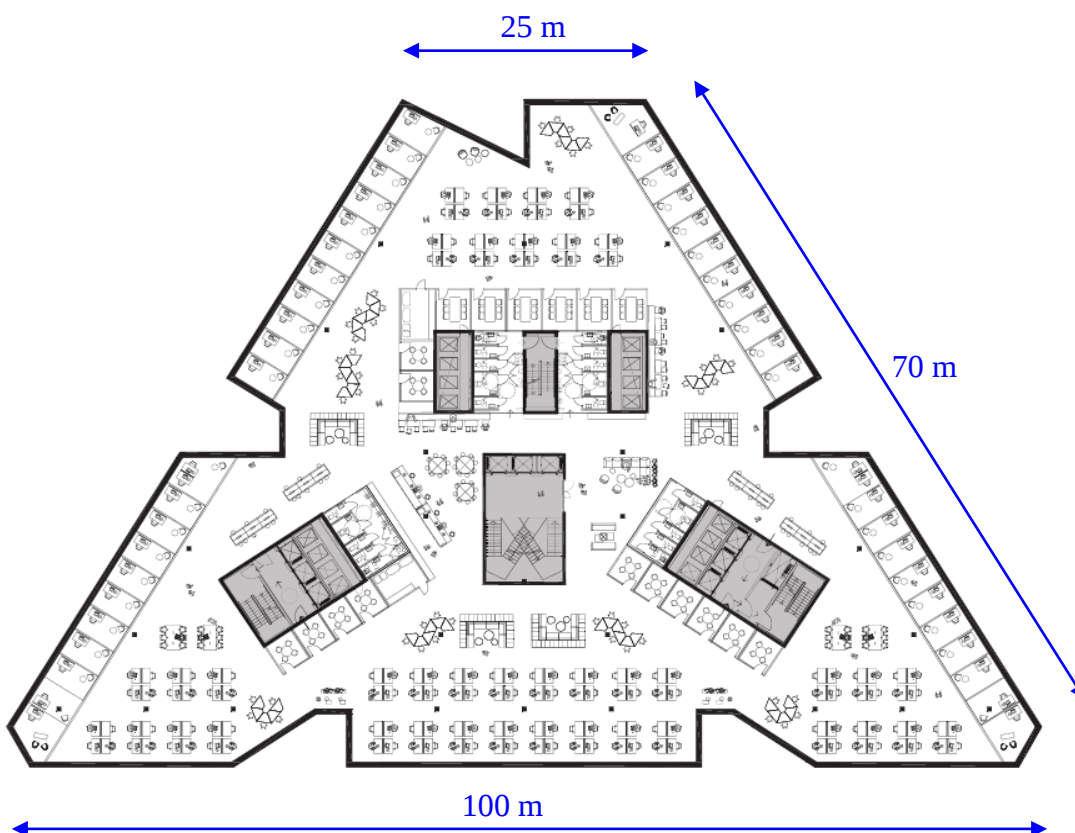
C.6.2.3. Material och utformning

Byggnaden är preliminärt tänkt att bestå av prefabricerade betongelement (sandwichelement på fasaden, håldäcksbjälklag inne i byggnaden). I fasaden inryms relativt stora (uppskattningsvis mer än 50 %) glasparter. Utrymmet mellan byggnaderna utgörs av ljusgårdar, vilket gör att det tillkommer stora heltäckande glasytor. Dessa stora glasparter in till ljusgårdarna ligger, i förhållande till Essingeleden, företrädesvis på andra sidan byggnaden men det kommer ändå uppstå stora, rena glasytor som är vända mot Essingeleden.

C.6.2.4. Fördjupad stomanalys av kontorskomplexen

En övergripande kontroll görs av kontorsbyggnad i Kv 8. Detaljerat underlag saknas och använd geometri är därför ungefärlig, se figur 53. Byggnaden antas stabiliseras av 3+3 hiss- och trapphus med följande mått:

- 8 x 4 m med 0,25 m tjocka betongväggar
- 12 x 8 m med 0,25 m tjocka betongväggar



Figur 53. Typisk utformning av kontorskomplex i Kv 8 med ungefärlig yttre geometri. Byggnaden approximeras till att bestå av 11 våningar, vilket approximativt motsvarar en höjd på $H = 40$ m.

Total effektiv massa hos byggnaden uppskattas till $m_{Kv8} = 19 \cdot 10^6$ kg. och den totala styvheten (osprucken betong antas konservativt) hos globalt stabiliserande enheter i huvudsaklig lastriktning uppskattas till $k_{Kv8} = 1,5 \cdot 10^9$ N/m. Tillsammans ger detta en egenvinkelfrekvens på:

$$\omega_{Kv8} = \sqrt{\frac{k_{Kv8}}{m_{Kv8}}} = 8,9 \text{ rad/s}$$

Utgående från en impulstäthet på $i = 2400$ Pas (för $W = 1000$ kg, $r = 25$ m samt beaktat vinkel för primär lastupptagande riktning – dock ingen reduktion med hänsyn till öppningar i fasaden) kan en ekvivalent statisk last, vid antagande om linjärelastisk respons, beräknas som

$$q_{ekv,Kv8} = \omega_{Kv8} \cdot i = 21,5 \text{ kN/m}^2$$

Detta är en hög last (dimensionerande vindlast uppgår till ungefär $q_{vind} = 1,0 \text{ kN/m}^2$) och bedömningen är att det globala systemet inte klarar av att bära denna last enbart med linjärelastisk respons.

En kontroll görs därför även för en elastoplastisk respons. Konservativt beaktas enbart gynnsam inverkan av tryckande normalkraft från husets egentygnd inom de delar som är nära bärande stommar. Detta ger en total böjmomentkapacitet på $M_{Rd,Kv8} = 250 \text{ MNm}$, vilket i sin tur medför att mothållande kraft (med antagande om en konsolbalk med jämnt utbredd last) kan beräknas till $R_{Rd,Kv8} = 12,5 \text{ MN}$. Erforderlig plastisk deformationsförmåga kan nu beräknas från energisamband.

Utgående från impulslast som verkar mot fasadytan ($40 \times 70 \text{ m}^2$) och byggnadens effektiva massa kan explosionens yttre arbete mot byggnaden beräknas som $W_y = 1,2 \text{ MJ}$. Detta arbete balanseras av ett inre arbete W_i varvid resulterande plastisk deformation upl kan beräknas genom att sätta $W_y = W_i$.

$$u_{pl,Kv8} = \frac{W_{i,Kv8}}{R_{Rd,Kv8}} = \frac{1,2}{12,5} = 0,1 \text{ m}$$

Detta är i sammanhanget en mycket liten plastisk deformation och bedöms inte utgöra någon fara för byggnadens globala stabilitet. Kontorskomplexet i Kv 8 bedöms därför ha tillräcklig global bärförmåga mot en explosionslast från 1000 kg TNT på avståndet 25 m även för ett fall där en helt "tät" fasad antas.

Baserat på att Kv. 6 (motstående kontorsbyggnad) utförs med en liknande stomme samt är omkring dubbelt så stor som Kv 8 (innehar en total sett större effektiv massa) är ovanstående resultat även representativt för denna kontorsbyggnad.

Den potentiella nackdel förknippad med en "tät" fasadutformning dvs. att den effektivare tar upp och för vidare pålagd last in i byggnaden och därmed ökar påkänningen mot byggnadens globala bärsystem innebär således ingen ökad risk för att planerade kontorsbyggnader innehållande många människor skulle kollapsa vid en större explosion på Essingeleden.

C.6.2.5. Bedömning av skadeeffekter

Utförd stomanalys påvisar att byggnaderna närmast Essingeleden som är tänkt att utformas med "tät" fasad för att motstå last från en gasexplosion, BLEVE samt 100 kg dynamit ej riskerar kollaps vid en större explosion om 500 – 1000 kg TNT. Vid en större explosion är vidare bedömningen att fasaden i sin helhet inte kommer att hållas intakt, vilket föranleder att tryckvågen sprider sig in i byggnaderna. Primärt förväntas glaspartierna gå förlorade men skador uppstår även på själva fasaden. För en laddning på 500 kg bedöms kontorsbyggnadernas betongfasad dock förbli intakt på ett avstånd om 25 m från laddningen medan denna bedöms gå förlorad vid en explosion av 1000 kg TNT. I utförda fasadkontroller har inte beaktats en fullt "tät" fasad; det har dock konservativt antagits att samtliga fönster har en lastupptagningsförmåga som är omkring en faktor 2,5 gånger större än vad som erfordras för att motstå lasten från 100 kg dynamit.

En större explosion kan således ovillkorligen förväntas föranleda många drabbade inomhus. Primärt är det människor som befinner sig i nära anslutning till glaspartierna som riskerar att omkomma. Aktuella glas (laminerade säkerhetsglas) minskar dock betänkligen risken för omfattande skärskador och eventuella skador bedöms istället främst härröra från den stöt mot människor som ett inkastat fönster kan ge upphov till.

Skadeomfattningen och risken för omkomna styrs primärt av förväntad inkastningshastighet samt av glaspartiernas utformning. För att erhålla en uppfattning av potentiell skadeomfattning beräknas risken att omkomma på olika avstånd inom byggnaden till följd av inkastade glaspartier och fasaddelar.

Beräkningarna tar utgångspunkt i angivna tröskelvärden, som anges i Svensson (2015) och som åskådliggörs i figur 54, för att en människa ska omkomma till följd av att denna kastas mot en hård yta vid exponering av en tryckvåg. I detta avseende ansätts konservativt att fönster som kastas mot människor inom byggnaden utgör en sådan hård yta.

Hastighet vid islag [m/s]	Letalitet
3,0	Mycket låg sannolikhet
6,5	Tröskelvärde
16,5	50 %
42,0	Nästan 100 %

Figur 54. Tröskelvärden för sannolikheten att omkomma vid kast mot hårt underlag enligt Svensson (2015).

Baserat på impulslast för en explosion om 1000 kg TNT, glasets vikt samt dess förmåga att motstå explosionslast kan hastigheten på ett inkastat fönster beräknas och från detta har gjorts en uppskattning av förväntad dödlighet.

Beräkningar för att avgöra kasthastighet och kaststräcka av fönster utgår från följande ekvationer:

Kasthastighet hos fönster:
$$v_{\text{fönster}} = \frac{i}{\gamma_{\text{fönster}}}$$
, där $\gamma_{\text{fönster}}$ = fönstertunghet och i = impulstäthet

Kaststräcka hos fönster:
$$s_{h, \text{fönster}} = v_{\text{fönster}} \cdot t_{\text{fönster}}$$
, där
$$t_{\text{fönster}} = \sqrt{\frac{2 \cdot s_{v, \text{fönster}}}{g}}$$

$s_{v, \text{fönster}} = 1,5 \text{ m}$ (avstånd från centrum fönster till golv)

Nedan ges en övergripande sammanställning av olika nyckelvärden för denna bedömning.

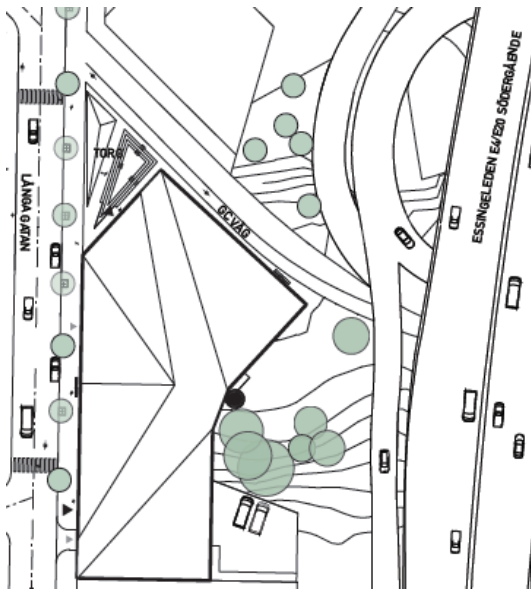
En fallerad väggfasad bedöms kastas in och kunna orsaka dödlighet inom ett avstånd om 5 m från fasaden. För en laddning på 1000 kg TNT och avstånd 25 m från fasaden bedöms detta kunna inträffa på alla byggnadens våningsplan längs en cirka 50 m lång fasadsträcka och inom detta område antas konservativt att samtliga personer omkommer. För den mest utsatta våningen bedöms 40 % av alla personer inom 5 m från fasad dö av glassplitter längs en 50 m lång sträcka och dödligheten bedöms vara 10 % inom samma avstånd från fasad för ytterligare en sträcka på 40 m. Utöver denna sträcka (maximalt 140 m) fås ingen dödlighet av glassplitter. Längs byggnadens gavlar bedöms lasten vidare ha minskat så mycket att detta inte bidrar till någon ytterligare dödlighet. Med beaktande av ovanstående siffror kan, via areajämförelse, visas att dödligheten i Kv 6 och Kv 8 är omkring 3,4 % respektive 7,1 % av den totala populationen inne i respektive byggnad. Dessa siffror utgår dock från två separata lastplaceringar (vid väggkant på respektive sida av Essingeleden) och eftersom den stora dödligheten i denna uppskattning härrör från brustet fasadelement (vilket inte bedöms inträffa om avståndet överstiger 40 m) så innebär detta att de två kontorskomplexen inte kan drabbas av ovanstående dödlighet samtidigt. Beaktat att Kv 6 har en totalyta/våningsplan som är omkring dubbelt så stor som för Kv 8 så medför slutligen en sammanvägning av dessa siffror att den totala dödligheten hamnar på omkring 3 % vid en explosion motsvarande 1 ton TNT. Vid en explosion om 500 kg TNT är dödligheten lägre. Jämförelse av resulterande impulstätheter som direkt är proportionell med inkastningshastigheten påvisar att skillnaden är ca en faktor 1,6 lägre vid en explosion om 500 kg TNT jämfört med en explosion om 1 ton. Risken för dödsfall pga av inkastade glaspartier avtar snabbt vid ett avstånd längre än 50 meter från explosionscentrum och vidare förväntas betongfasad förbli intakt. Grovt bedöms en total dödlighet om ca 1 % vid en explosion om 500 kg TNT.

Det bör vidare noteras att det är ytterst svårt att i absoluta tal bedöma antalet omkomna inomhus vid en större explosion och alla bedömningar av antalet omkomna inomhus vid en sådan exceptionell händelse bör därför betraktas som en grov ingenjörsmässig uppskattning.

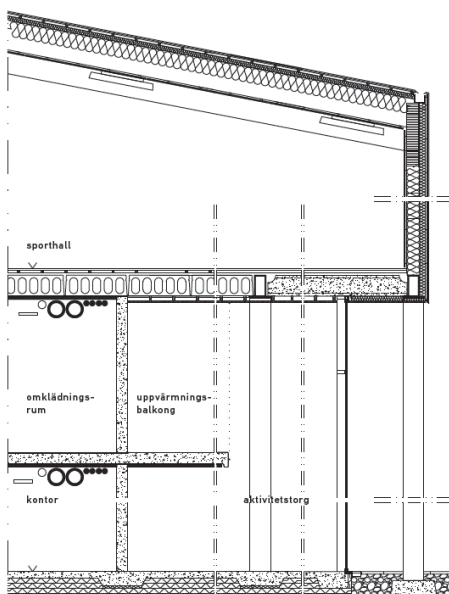
C.6.3. Kv 7 – Idrottshall

C.6.3.1. Geometri

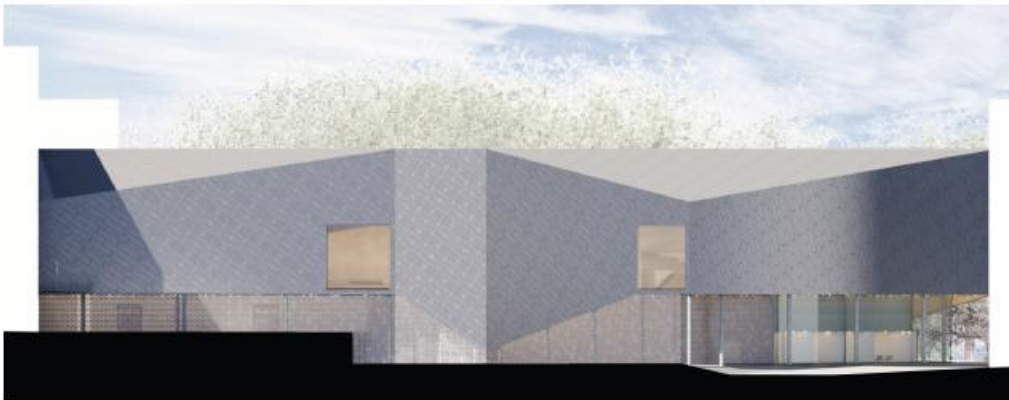
Kristinebergshallen består av två sammanbyggda idrottshallar, se figur 55 för hallens placering gentemot Essingeleden, tvärsektion av byggnaden visas i figur 56 och planerad fasad mot Essingeleden visas i figur 57. I figur 58 visas vy över plan 2 och 3.



Figur 55. Typsektion hos kontorsbyggnad (hus A) med placering i förhållande till Essingeleden.

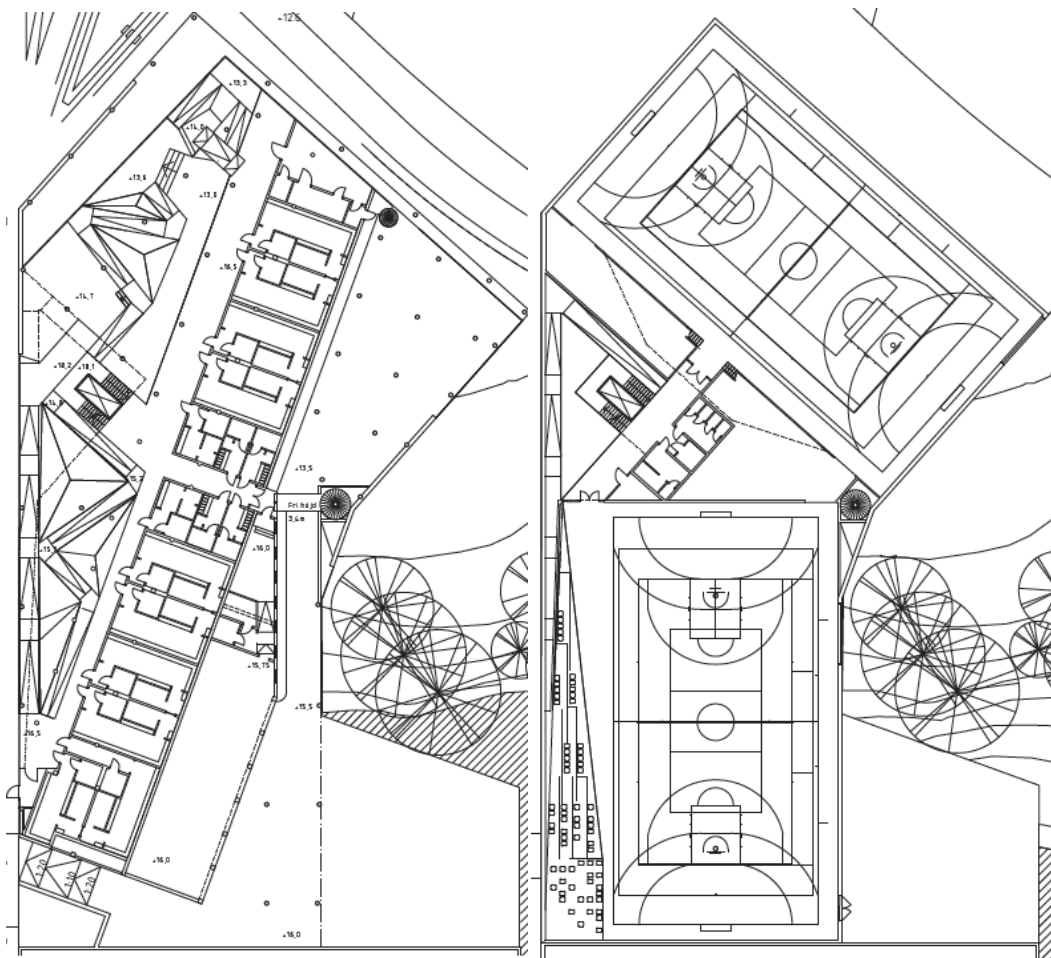


Figur 56. Tvärsektion av hallbyggnad.



fasad mot öst 1:400

Figur 57. Idrottshallens östra fasad (vette mot Essingeleden).

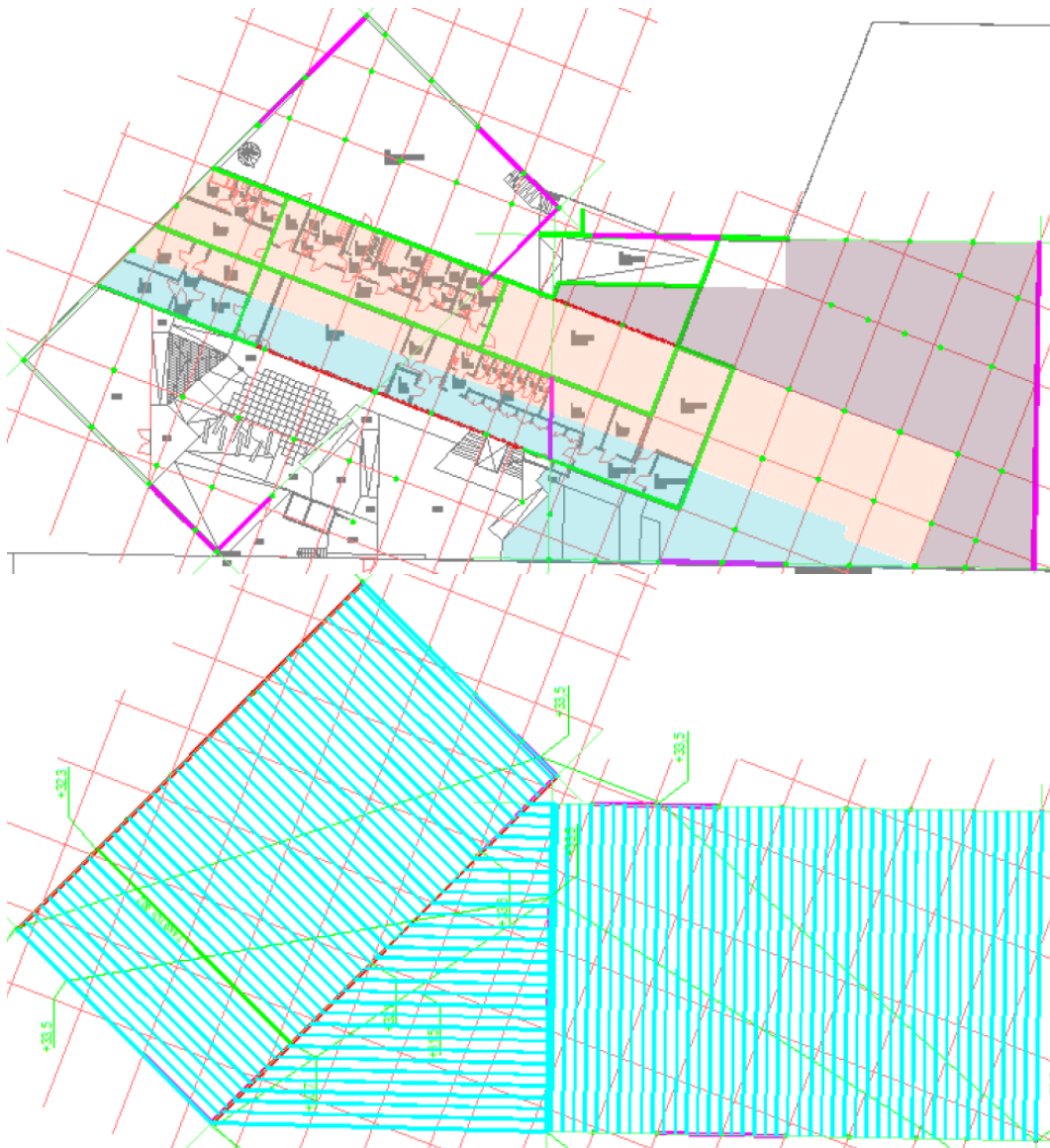


Figur 58. Vy över plan 2 (övre entréplan) och plan 3 (sportgolvsplan).

C.6.3.2. Material och utformning

I figur 59 visas det stabiliserande systemet på plan 2 samt i takplan. Valda material kan sammanfattas enligt nedan

- Den nedre delen av fasaden utgörs av stora glaspartier.
- Stabiliserande väggar i betong och hisschakt samt stålramar på plan 1-2.
- Bjälklag består av HD/f-plattor som vilar på hattformade stålbalkar (HSQ-balkar). Balkarnas spännvidder är 6-9 m och HD/f-plattorna är 5-7 m.
- Takplanet utgörs av limträbalkar med en spännvidd på 24-29 m samt med ett centrumavstånd på 1 m. Som taktäckning är takplåt planerad att användas.
- Fasadmaterial utgörs av lättväggar motsvarande PAROC-element som planeras att förstärkas med kontinuerliga stålband.



Figur 59. Stabiliserande system på plan 2 samt i takplan.

C.6.3.3. *Bedömning av skadeeffekter*

Aktuell hallbyggnad bedöms kunna erhålla betydande skador med risk för total kollaps vid händelse av en större explosion som inträffar i höjd med aktuell byggnad. Sker explosionen i höjd med kontorsbyggnader återfinns ett gynnsamt skyddsavstånd om ca 100 meter, den resulterande lasten på detta avstånd bedöms inte hota byggnadens globala stabilitet.

C.6.4. Omkringliggande befintlig bebyggelse samt bakomliggande bostadskvarter

Ingen fördjupad kontroll görs av befintliga byggnaders motståndskraft mot explosion. De mest utsatta befintliga byggnaderna är de bostadshus som ligger öster om Essingeleden, mitt emot Kv 7. För dessa byggnader är den övergripande bedömningen att de förhållandevis väl skulle klara en kraftfull explosion som har sitt explosionscentrum på Essingeleden placerad i linje med den södra spetsen av Kv 8. Dessa byggnader har en tegelfasad och en stomme av betong och avståndet mellan antaget explosionscentrum och närmaste bostadshus är omkring 50 m, och till huset efter det är det omkring 75 m. De laster som erhålls på dessa avstånd från en laddning på 500 kg eller 1000 kg TNT bedöms framförallt föranleda att samtliga glastrutor riskerar att krossas medan dessa byggnader inte förväntas rasa samman av en sådan last.

För de befintliga byggnader som befinner sig längre bort från planområdet, t.ex. befintliga kontorsbyggnader norrut samt nytt planerat kontorshus söderut om idrottshallen, förväntas skadorna bli måttliga. Det tämligen stora avståndet från planområdet medför att dess byggnader kommer att utsättas av en kraftigt reducerad infallande last givet en explosion inom planområdet. Vidare innebär planerad bebyggelse att ett naturligt skydd tillskapas för att förhindra en vinkelrätt stötvågsutbredning mot dessa byggnader, d.v.s. befintlig bebyggelse erhåller ett visst positivt skydd i och med att planerad bebyggelse kommer avskärma dessa. Fortfarande förväntas att flertalet fönster krossas inom åtminstone 150 m från explosionscentrum om laddningen uppgår till mer än 500 kg TNT, dock med väldigt låg sannolikhet för dödlighet tack vare en låg inkastningshastighet av glas.

För den nya bostadsbebyggelse så kommer denna vara förhållandevis väl skyddad från en explosion på Essingeleden av det framförliggande Kv 6. Liksom för befintliga bostadshus kan det visserligen uppkomma krossade glasfönster vid kraftiga explosioner från stora laddningar men någon fara för att byggnaderna ska ådra sig kritiska skador bedöms inte finnas.

Referenser för Bilaga C

- van den Berg A.C. (1985): The multi-energy method – A framework for vapour cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazardous Materials*, 12(1985), sid 1-10.
- CCPS (2010): Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards, Second edition. Center for Chemical Process Safety, John Wiley & Sons, Hoboken, USA.
- DNV (2013): QRA Göteborg GO₄LNG Terminal. Det Norske Veritas.
- Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998): Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och Avdelningen för Vapen och Skydd, Försvarets Forskningsanstalt, FOA-R--97-00490-990—SE, Sverige.
- Forsén R. (1998): Tryck vid explosioner. Kapitel 10 i Fischer *et al.* (1998), sid 279-312.
- Johansson M. (2012): Luftstöt våg. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publ.nr MSB448, Karlstad.
- Johansson M. (2013): Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Dokument B02-121, 2013-03-11, Karlstad.
- Johansson M. och Laine L. (2012): Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, Del 3: Kapacitet hos byggnader. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Publ.nr MSB 0142-10, Karlstad.
- Planas-Cuchi E., Gasulla N., Ventosa A., Casal J. (2004): Explosion of a road tanker containing liquefied natural gas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17 (2004), sida 315-321.
- Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J.M. (2015): Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 34 (2015), sida 127-138.
- SIS (2008a): Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1992-1-1:2005, Stockholm.
- SIS (2008b): Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1993-1-1:2005, Stockholm.
- Svensson L. (2015): Människans tållighet mot luftstöt vågor. FOI
- VROM (2005), Guideline for Quantitative Risk Assessment, "Purple book". Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederländerna.

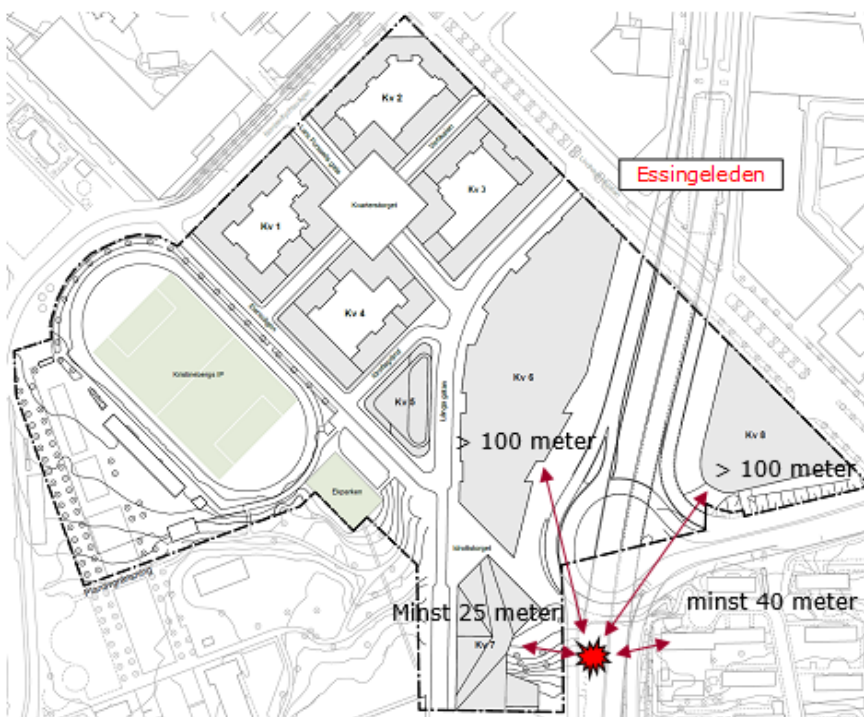
Samtliga referenser från MSB finns att ladda ner gratis på www.msb.se/skyddsrum.

Bilaga D – Fördjupad känslighetsanalys

För att åskådliggöra hur osäkerheter i antaganden påverkar resultaten genomförs en fördjupad känslighetsanalys av de parametrar som kan förväntas påverka riskbilden i större utsträckning. Idrottshallens tämligen veka konstruktion innebär att denna är känslig för större explosioner. Mot denna bakgrund är det av intresse att analysera hur antagande av explosioncentrum påverkar samhällsrisknivåerna samt huruvida risknivåerna är robusta mot en eventuell ökning av antalet klass 1-transporter.

Känslighetsanalysen omfattar även hur risknivåerna kan påverkas vid händelse av att ett stort utsläpp av giftig gas som påverkar ett större antal av människorna inomhus. Scenariot antas representera att många fönster i fasad står öppna vid händelse av olyckan, vilket är att betrakta som ett form av worse-case scenario. Ingen frekvensreducering görs med avseende på att detta utan beräkningar tar utgångspunkt i de generella olycksfrekvenser sett över ett år, vilket är mycket konservativt.

Utgångspunkten för känslighetsanalysen är att större explosioner involverande klass 1.1 antas inträffa på närmsta körbanan i höjd framför planerad idrottshall i enlighet med figur 60.



Figur 60. Olycksplacering intill idrottshall.

Bedömning av antalet omkomna utgår mycket konservativt från att alla olyckor involverande transport av explosivt ämne > 100 kg dynamit föranleder kollaps av idrottshallen med 100 % omkomna inomhus. Utifrån belyst transportstatistik i riskutredningen antas antalet sådana transporter uppgå till ca 20 % av det totala transportarbetet av klass 1 varor. Ca 90 % av samtliga transporter antas utgöra klass 1.1 transporter, detta ger ca 1 transport/dag, d.v.s. 365 transporter per år.

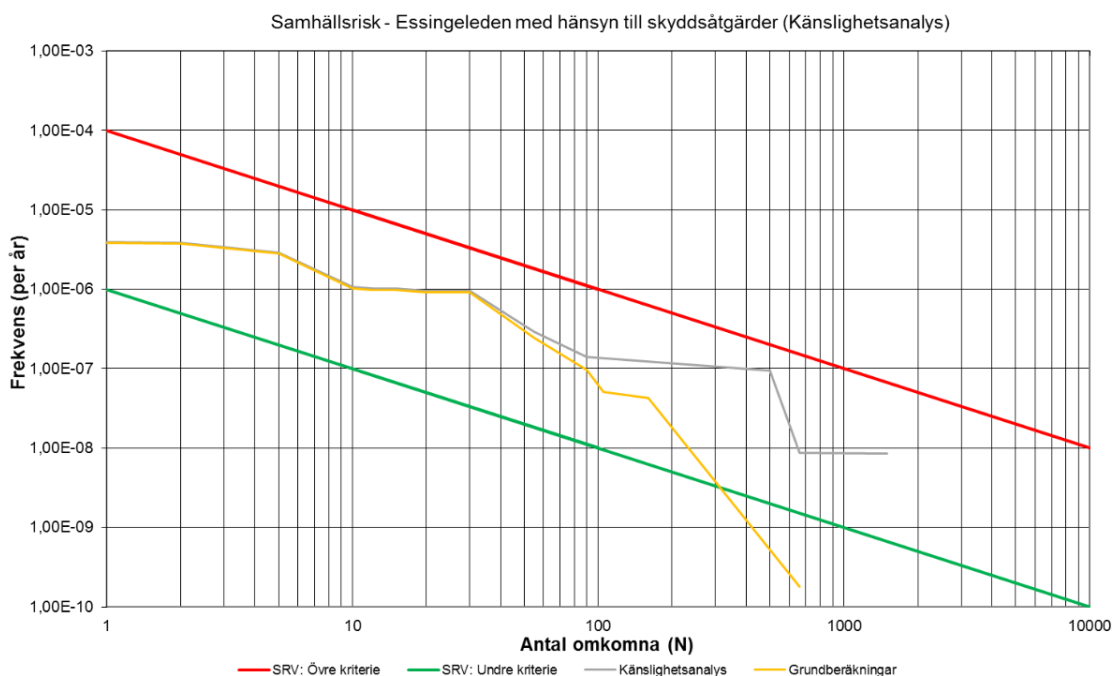
Sett till framtagna personbelastningsplan antas att personantalet dagtid uppgår till 500 personer. Nattetid förväntas idrottshallen stå tom. Gällande befintliga bostadshus utförda med betongstomme och tegelfasad förväntas konsekvenserna bli begränsade till påverkan på människor inom de lägenheterna i närliggande byggnad som vetter direkt mot Essingeleden. Totalt förväntas 16 lägenheter kunna påverkas, generellt kan vidare antas att 2 personer bor i respektive lägenhet. Under dagtid är det troligt

att majoriteterna av bostäderna står tomma, varför det är otroligt att en eller flera människor påverkas vid en explosion. I beräkningar antas människor återfinnas i en av de utsatta lägenheterna mot Essingeleden. Nattetid förväntas människor sova och kan därmed omkomna vid en större explosion (< 500 kg). I beräkningarna antas samtliga människor vara hemma nattetid.

Känslighetsanalysen omfattar även hur risknivåerna kan påverkas vid händelse av att ett stort utsläpp av giftig gas påverkar ett större antal av människorna inomhus. Beräkningarna grundar sig på att 50 % av alla människor inom kv 6 (största kontorshuset) omkommer, d.v.s. 1500 personer.

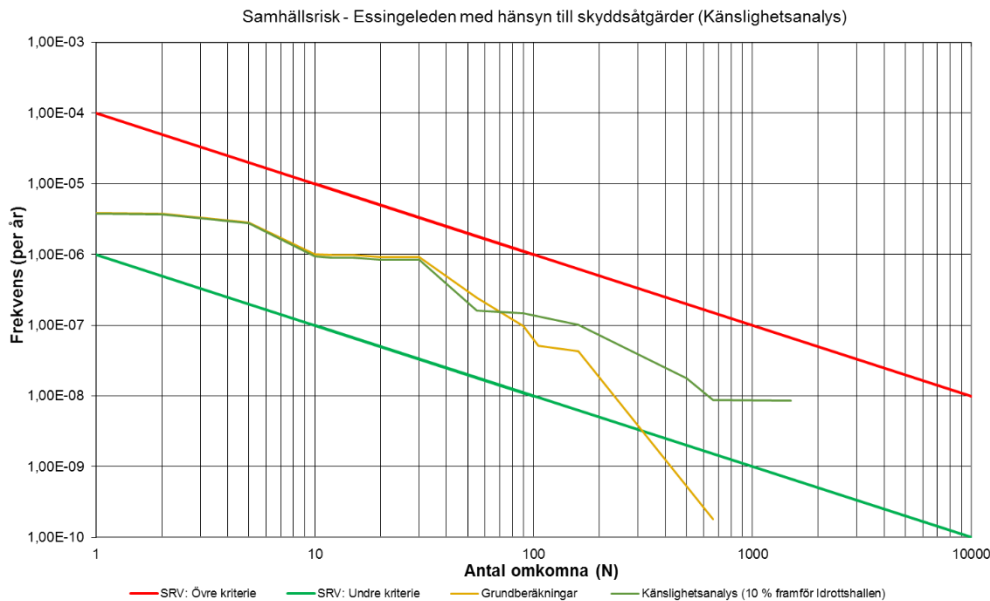
Enligt tidigare är utgångspunkten i frekvensberäkningar att 90 % av farligt godstransporterna körs dagtid och 10 % körs under dagtid.

I figur 61 presenteras hur samhällsrisknivåerna påverkas med antagandet att samtliga större explosioner inträffar framför idrottshallen samt att 1500 människor omkommer inom kv 6 vid ett stort utsläpp av giftig gas.



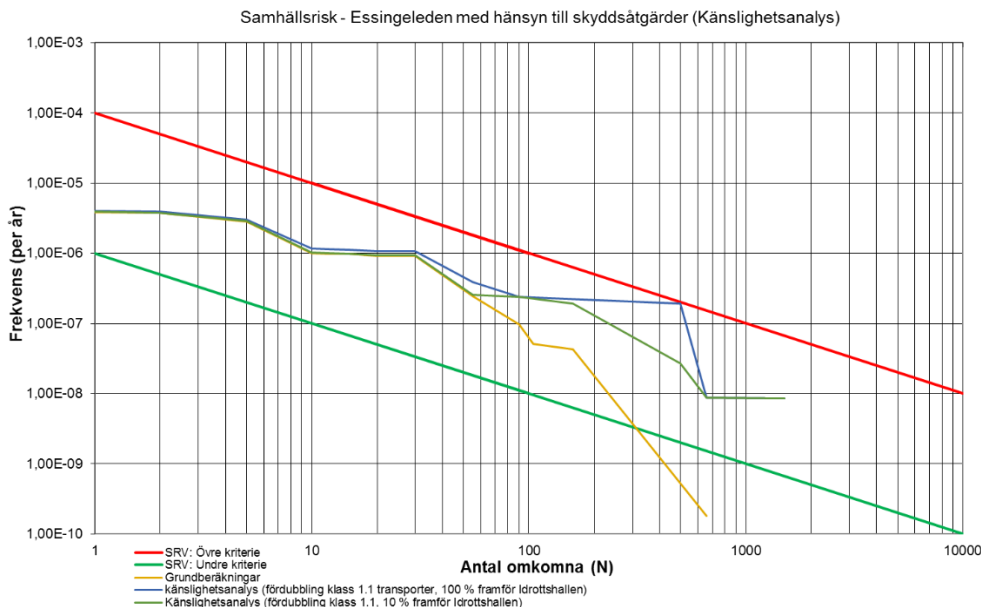
Figur 61. Känslighetsanalys som redogör för hur variation av explosionscentrum samt skadeomfattning inomhus vid ett utsläpp av giftig gas påverkar samhällsrisknivåerna. Samtliga explosionsförlopp antas inträffa i höjd framför idrottshallen.

I figur 62 presenteras hur samhällsrisknivåerna påverkas med antagandet att 10 % (100 av 1000 m) av olyckorna inträffar framför Idrottshallen och 90 % av olyckorna inträffar framför kontorshuset (d.v.s. samma bedömning av antalet omkomna som i grundberäkningarna) samt att 1500 människor omkommer inom kv 6 vid ett stort utsläpp av giftig gas.



Figur 62. Känslighetsanalys som redogör för hur variation av explosionscentrum samt skadeomfattning inomhus vid ett utsläpp av giftig gas påverkar samhällsrisiknivåerna. 10 % av explosionsförloppen antas inträffa i höjd framför idrottshallen och 90 % av olyckorna inträffar framför kontorshusen. Detta bedöms konservativt representera ett generellt markutnyttjande på Kungsholmen intill Essingeleden efter att programmet Nordvästra Kungsholmen är utbyggt.

I figur 63 presenteras hur samhällsrisiknivåerna påverkas vid antagande om en fördubbling av antalet större transporter av klass 1.1 med antagande om att samtliga större explosioner inträffar framför idrottshallen samt med antagandet om att 10 % (100 av 1000 m) av olyckorna inträffar framför idrottshallen och 90 % av olyckorna inträffar framför kontorshusen. Vidare är utgångspunkten i båda fall att 1500 människor omkommer inom kv 6 vid ett stort utsläpp av giftig gas.



Figur 63. Känslighetsanalys som redogör för hur en framtida ökning av transporter med större mängder explosivt ämne, variation av explosionscentrum samt skadeomfattning inomhus vid ett utsläpp av giftig gas påverkar samhällsrisiknivåerna. 10 % av explosionsförloppen antas inträffa i höjd framför idrottshallen och 90 % av olyckorna inträffar framför kontorshusen. Detta bedöms konservativt representera ett generellt markutnyttjande på Kungsholmen intill Essingeleden efter att programmet Nordvästra Kungsholmen är utbyggt.

Resultaten indikerar att mer eller mindre grova antagande om olycksplacering påverkar beräknade samhällsrisknivåer i relativt stor utsträckning. Detta mot bakgrund av att antalet omkomna till följd av kollaps idrottshallen i relation med antalet omkomna inom kontorshusen skiljer mer än en faktor 3. Det kan konstateras att den tämligen veka idrottshallen i relation till de mer robusta kontorshusen lämpar sig generellt sämre intill farligt godsleder där explosionsrisk föreligger utifrån ett samhällsriskperspektiv. Skulle en betydande ökning av transporter med större mängder klass 1.1 varor på dagtid ske i framtiden så kan inte uteslutas att idrottshallen ger upphov till risknivåer inom den högre ALARP-zonen.

Det bör vidare tydliggöras att det finns betydande osäkerheter i tillförlitligheten i transportstatistik vad gäller klass 1- varor. Baserat på nya uppgifter som presenteras i Trafikkontorets rapport "FARLIGT GODS - TRAFIKSTYRNING Ökad kunskap om farligt gods och förutsättningar för styrning av transporterna" finns indikationer på att antalet klass 1 transporter har underskattats i en icke försumbar utsträckning. Utifrån de nya intervjuer som under 2017 genomförts med branschföretag i Stockholmsregionen framkommer att omfattningen av klass 1 transporter inom staden uppgår till ca 10 – 12 transporter, där lasten uppgår till 3 – 400 kg patronerat sprängämne (dynamit) vardera. De nya uppgifterna indikerar ett trafikarbete om totalt ca 3650-4380 transporter per år givet att transporterna antas köras ut 7 dagar i veckan alternativt 2600-3120 transporter per år givet att transporterna antas köras ut 5 dagar i veckan. Vidare är det oklart vilka vägar dessa typer av transporter belastar, men rimligen kan en större andel förväntas passera Essingeleden. En ytterligare slutsats från intervjuerna är att de större transporterna, över 1 ton, inte passerar Mälarsnittet särskilt ofta. Rapporten redovisar vidare att majoriteten av transporterna sker innan kl. 07:00.

Med utgångspunkt i samma beräkningsmetodik (VTI) som redogörs i Bilaga A kan en olycksfrekvens om $1,0 \times 10^{-6}$ - $1,2 \times 10^{-6}$ per år beräknas baserat på detta trafikarbete. Beräknade olycksfrekvenser tar ingen hänsyn till när på dygnet transporterna går. Sett till att de nya uppgifterna indikerar att majoriteten av transporterna sker innan kl. 07:00 råder det vidare stora osäkerheter i hur stor riskexponeringen kan antas vara för aktuell detaljplan, detta sett till att de utsatta verksamheterna (kontorsbyggnaderna samt idrottshall) förväntas stå tomma nattetid/tidig morgon. Sett till utgångspunkten i utförda grundberäkningar vad gäller samhällsrisk kan sägas att åskådliggjord samhällsriskprofil täcker in ett omvänt förhållande, d.v.s. 10 % av klass 1 transporterna antas transporteras dagtid och 90 % nattetid. Beräkningar utförda för en fördubbling av transporter av klass 1- varor över 100 kg täcker in ett förhållande där 20 % av antalet transporter antas ske dagtid och 80 % nattetid. Skulle riskberäkningar utföras med en högre fördelning av transporter på dagtid kan konstateras att det är problematiskt att säkerställa godtagbara samhällsrisknivåer givet att idrottshallen riskerar att kollaps vid en explosion. De mer robusta kontorshusen, utformade med robust stomme och "täta" fasader för de dimensionerande gasexplosionerna, är betydligt mindre känsliga för en sådan förändring. Överslagsberäkningar enligt beräkningsmetodik som återfinns i Bilaga C – *Fördjupad konsekvensbedömning av explosionsförlopp* för en laddning om 400 kg dynamit indikerar att risken för allvarliga konsekvenser inom kontorshusen begränsas till ett område om ca 5 meter innanför en fasadsträcka om ca 30 meter för de 3 mest utsatta våningsplanen i byggnad närmast explosionscentrum. Dödligheten inom detta område är i storleksordningen 1-50 %, konsekvenserna härleds till risk för att människor innanför fasad riskerar att utsättas för glassplitter. Längre från explosionscentrum förväntas kontorshusens "täta" fasad förbli intakt, följaktligen bedöms ingen innanför dessa fasaddelar omkomma. Totalt antal omkomna inomhus givet en explosion om 400 kg dynamit som inträffar på körbanan närmast något av kontorshusen kan således grovt bedömas till 1-12 personer, beräkningar grundar sig på en genomsnittlig persontäthet om 1 personer per 20 kvm i byggnaderna.

Kopplat till osäkerheterna förknippade med antaganden om antal transporter ska vidare beaktas att det pågår flera projekt för att minska genomfartstrafiken av farligt gods inom Stockholm, varvid byggandet av Förbifart Stockholm betraktas som den mest betydande. Troligtvis innebär driftsättningen av Förbifart

Stockholm att farligt godsflödet på Essingeleden minskar framgent, detta även inkluderat klass 1 transporter.

Vad gäller osäkerheter kopplat till bedömning av antalet omkomna inomhus vid ett större utsläpp av giftig gas så innebär de låga olycksfrekvenserna att risknivåerna är tämligen okänsliga mot dessa osäkerheter. Att helt skydda sig mot konsekvenser av ett stort utsläpp av giftig gas är vidare ogörligt inom en stadsmiljö. Via införlivade skyddsåtgärder i detaljplanen som innebär att friskluftsintag placeras på sida bort från Essingeleden minimeras antalet påverkade i omgivningen. Inom ramen för fysisk planering tillsätts generellt ingen annan åtgärd för att skydda sig mot omfattande konsekvenser vid händelse av ett större utsläpp av giftig gas.

Det bör poängteras att det föreligger stora osäkerheter i olycksfrekvensuppskattning av explosion till följd av en farligt godsolycka med klass 1.1 vara. Vid beräkning av olycksfrekvenser har utgångspunkt tagits i den så kallade VTI-metoden. Metoden är vedertagen inom Sverige och används i stor utsträckning vid riskbedömningar längs med farligt godsleder. Aktuell metod är några decennier gammal och bygger på olycksstatistik från tidigt 90-tal. Vidare återfinns stora osäkerheter i bedömning av delsannolikheter för hur en trafikolycka kan utvecklas till en farligt godsolycka. Ofrånkomligen innebär denna typ av händelseträdsanalys att mer eller mindre grova antaganden behöver göras.

Jämförelse med olycksstatistik¹⁵ från hela Europa påvisar att sannolikheten för att en stor explosion (över 100 kg) i samband med en olycka i en för vägtransport av ADR klass 1 kan sättas till 2×10^{-10} per ton-km. Bakgrund till ingångsvärdet är att det enligt Eurostat transporteras 400 miljoner ton-km klass 1 per år i Europa. Mellan åren 1995-2010 har totalt transporterats ca 6×10^9 miljoner ton km klass 1 utan att någon katastrofal olycka inträffat. Detta ger en olycksrisken kan sägas understiga $1,67 \times 10^{-10}$ per ton-km, ovan avrundat till 2×10^{-10} per ton-km.

Med stöd från ovanstående jämförelse kan slutsatsen dras att det finns indikation till att sannolikheten för explosionsförlopp involverande klass 1.1 överskattas. Överslagsberäkningar utförda med stöd från den aktuella trafikstatistiken erhållna från belysta trafikmätningar på Essingeleden påvisar att skillnaden i frekvensuppskattningar för olyckor som är förknippade med explosionsförlopp kan uppgå till så mycket som ca 3-4 tiopotenser. Skulle samhällsrisikberäkningar ta utgångspunkt i dessa olyckskvoter skulle riskbidraget från olyckor med explosivt ämne i princip vara försumbart.

Det föreligger vidare stora osäkerheter i bedömt antal omkomna vid händelse av en explosion till följd av olycka involverande klass 1.1, primärt med avseende på att utförda bedömningar konservativt ej beaktar det förväntade tidsförloppet från att en olycka inträffar till dess att det föreligger risk att lasten exploderar. Sett till hur transportfordonen är utformade (uppbyggd av olika brandceller), chaufförens utbildning och möjlighet till en första släckinsats är bedömningen att det är osannolikt att en brand sprider sig till lasten, vilket i ett led skulle kunna initiera en detonation. Enligt kompletterande uppgifter från olika transportbolag som inhämtats av Trafikkontoret framgår av transportbolagen att det krävs en fullskalig brand i 2 timmar för att lasten ska explodera, andra har nämnt 45 minuter. Detta innebär att räddningstjänsten har goda möjligheter att släcka uppkommen brand alternativt evakuera närområdet på människor. Baserat på att verksamheterna som är mest utsatta (idrottshall tillsammans med kontorsbyggnader) är lätt utrymningsbara med hänsyn till att människor förväntas vara vakna samt att lokalerna blir utrustade med heltäckande utrymningslarm bedöms räddningstjänstens möjligheter till en omfattande evakuering vara goda trots den höga exploateringsgraden. Gällande sannolikheten för uppkomst av en stötinitierad detonation så är bedömningen att denna i princip kan betraktas som försumbar, detta sett till aktuell vägutformning som innebär en hastighetsbegränsning om 70 km/h samt att det inte finns någon risk för frontalkollisioner. En upphinnande olycka i lägre hastigheter bedöms ej

¹⁵ Från förslag på ingångsparametrar i Trafikverks rapport TRV 2014/7297 *Krav och råd för överdäckning och säkerhet vid användning*, 2014 [31].

kunna initiera en detonation. Utgångspunkten i utförda beräkningar har konservativt varit att sannolikheten för detonation givet starka påkänningar är lika stor som för att en brand sprider sig till lasten i samband med olycka.

En riskreducerande åtgärd för att minimera potentiell skadeutbredning vid händelse av explosion skulle givetvis kunna vara att se över den byggnadstekniska utformningen av planerad idrottsbyggnad. En mer robust utformning innebär att samhällsrisknivåerna inom planområdet kan göras betydligt mindre känslig mot antagande om vart en explosion inträffar samt hur många och när på dygnet transporter av klass 1 varor transporteras. Huruvida en alternativ konstruktionsutformning kan anses vara försvarbar eller inte är inte uppenbart utifrån ett riskhanteringsperspektiv sett till alla belysta osäkerheter som är förknippat med frekvens- och konsekvensbedömning av potentiella explosionsförlopp. Sett till att planerad verksamhet är riktad mot en bredare målgrupp där även barn och unga förväntas vistas dagligen kan vidare argumenteras för att större hänsyn ska tas till att beakta möjliga skyddsåtgärder givet belysta osäkerheter.

Med hänsyn till ovanstående har projektet valt att via en fördjupad analys studera olika alternativ av hur idrottshallen byggnadstekniskt skulle kunna förstärkas för att öka dess motståndskraft mot större explosioner.

D.2. Effekt av att öka idrottshallens motståndskraft mot explosioner

Utgångspunkten för analys av möjligheterna att förstärka idrottshallens har varit att säkerställa att idrottshallen ej riskerar fortskridande ras och kollaps givet en större explosion om 400 kg dynamit, detta i ett led att minimera potentiella konsekvenser som kan uppstå givet en större explosion. Val av last är direkt proportionellt med de nya uppgifterna gällande transporter av klass 1 varor inom Stockholmsregionen.

För att tillskapa ett utökat skydd mot explosioner har idrottshallens bärande stomme dimensionerat upp för statistisk olyckslast om 15 kn/m². Som utgångspunkt för en övergripande kontroll av idrottshallens bärande stomme har infallande dynamiska laster generade från en explosion om 400 kg, se tabell 14, dynamit på Essingeleden omvandlats till ekvivalenta statiska laster och jämförts med aktuell olyckslast, d.v.s. 15 kn/m². Kontrollen indikerar att det går att dimensionera upp byggnaden för att klarar av en explosionslast genererad av 400 kg dynamit placerad på Essingeleden.

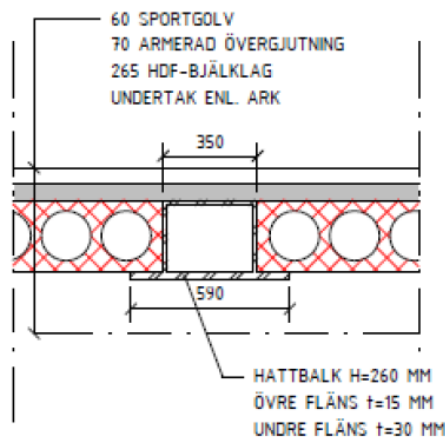
Tabell 14. Resultater tryck och impulslaster från en explosion motsvarande 400 kg dynamit.

Beskrivning	r [m]	W [kg]	W_{mod} [kg]	P_s^+ [kPa]	$t_{D,s}^+$ [kPa]	i_s^+ [kPa]	P_r^+ [kPa]	$t_{D,r}^+$ [ms]	i_r^+ [Pas]
Dynamit , 400 kg	25	240	432	67	13.3	446	169	11.8	996
Dynamit , 400 kg	30	240	432	47	16.0	379	112	14.5	812
Dynamit , 400 kg	35	240	432	36	18.4	330	81	16.8	685
Dynamit , 400 kg	40	240	432	29	20.4	291	63	18.8	592
Dynamit , 400 kg	45	240	432	24	22.1	261	51	20.3	521
Dynamit , 400 kg	50	240	432	20	23.4	237	43	21.5	466
Dynamit , 400 kg	55	240	432	18	24.6	216	37	22.5	421
Dynamit , 400 kg	60	240	432	16	25.5	199	33	23.2	383

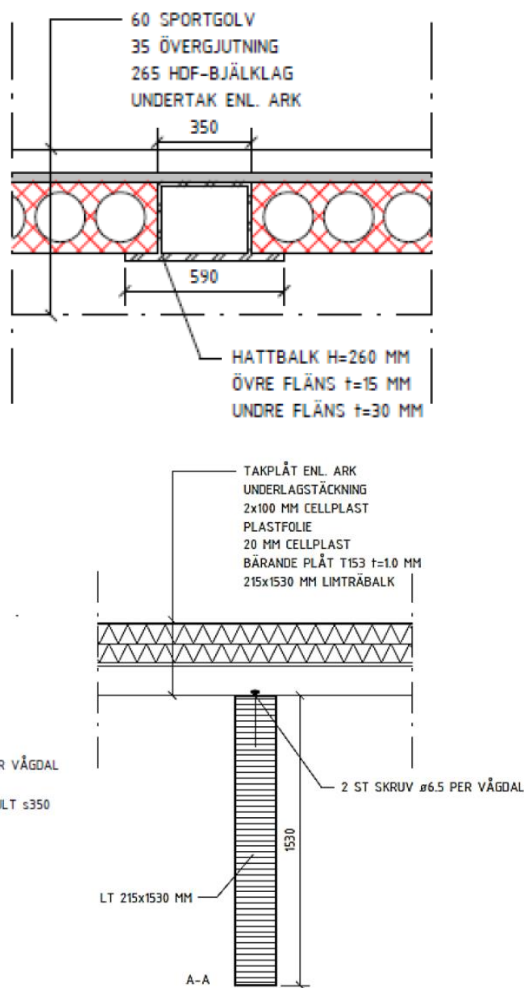
I ett led att säkerställa ett stomsystem med erforderlig global lastupptagningsförmåga sett utifrån det utökade dimensioneringskravet har bjälklagen och takuppbbyggnaden behövt se över och förstärkas i enlighet med principskisser som redogörs i figur 64.

Bjälklag

Med beaktande av explosionslaster



Utan beaktande av explosionslaster



Figur 64. Nödvändiga förstärkningsåtgärder för att öka idrottshallens motståndskraft mot explosioner.

Nödvändiga byggnadstekniska åtgärder innebär inga begränsningar sett till avsedd funktion eller gestaltning av byggnaden utan effekterna är primärt förknippade med en utökad byggkostnad. Med hänsyn till detta är bedömningen att det utifrån ett kostnad-/nyttoperspektiv är motiverat att ställa krav på att utforma idrottshallen med särskild hänsyn till en större explosion som inträffar på Essingeleden. Med aktuella förstärkningsåtgärder kan konsekvenserna av en större explosion om 400 kg dynamit effektivt begränsas till lokala byggnadsskador där risken för personskador inom byggnaden begränsas till att personer i närhet av explosionscentrum kan komma att bli träffade av inkastade glastrutor och lättare parocement som återfinns i fasaden. Skadeutbredningen kan således begränsas till att personer som vistas direkt innanför fasad riskerar att allvarligt skadas/förolyckas givet en större explosion.

Utifrån ett samhällsriskperspektiv innebär en förstärkning av idrottshallen att samhällsrisknivåerna inom planområdet kan göras okänsliga mot vart en explosion antas inträffa. Riskbilden kan vidare konstateras robust sett till eventuella förändringar i antalet transporter av klass 1 varor på Essingeleden.

För att omhänderta åskådliggjorda osäkerheter gällande idrottshallens negativa inverkan på samhällsrisknivåerna föreslås att utökade skyddsbestämmelser för idrottshallen inarbetas i planhandlingarna i ett led att säkerställa godtagbara risknivåer över tid.